
Technická univerzita v Liberci

Fakulta strojní

Diplomová práce

2013

Bc. Vladimír Dostál

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Studijní program N2301 – Strojní inženýrství

*Strojírenská technologie
zaměření tváření kovů a plastů*

*Katedra strojírenské technologie
Oddělení tváření kovů a plastů*

Aplikace Mucell technologie na vybraný plastový díl

Application technology Mucell to selected plastic part

Bc. Vladimír Dostál

KSP – TP -

Vedoucí diplomové práce:

prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld – TU v Liberci

Konzultant diplomové práce:

Ing. Jiří Habr, Ing. Jiří Bobek – TU v Liberci

Rozsah práce a příloh:

Počet stran:	68
Počet tabulek:	11
Počet obrázků:	57
Počet grafů:	0
Počet příloh:	0

Datum: 24.5.2013

ANOTACE

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta strojní

Katedra strojírenské technologie
Oddělení tváření kovů a plastů

Studijní program: N2301 – Strojní inženýrství

Diplomant: Vladimír Dostál

Téma práce: Aplikace Mucell technologie na vybraný plastový díl
Application technology Mucell to selected plastic part

Číslo DP: KSP – TP -

Vedoucí DP: prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld – TU v Liberci

Konzultant DP: Ing. Jiří Habr, Ing. Jiří Bobek – TU v Liberci

Abstrakt:

Obsah diplomové práce je zaměřen na představení progresivních technologií na úsporu materiálu při výrobě plastových dílů. Převážná část diplomové práce se zabývá aplikací technologie Mucell na vybraný plastový díl firmy Ravensburger Karton s.r.o. V diplomové práci jsou představeny výhody, nevýhody technologie Mucell a tyto vlastnosti jsou prezentovány na praktické ukázce. Experimentální část se zabývá popsáním použitých materiálů, zařízením, procesem vstřikování. V kapitole Diskuze a vyhodnocení jsou ukázány výsledky vážení, optické mikroskopie a měření na 3D skeneru. V závěru jsou shrnuty získané informace.

Klíčová slova: technologie Mucell, vstřikování plastů, 3D skener.

Abstract:

The aim of this diploma thesis is to introduce material saving progressive technologies when producing plastic parts. A significant part of the thesis deals with application of the Mucell technology on a selected plastic part supplied by Ravensburger Karton s.r.o. Advantages and disadvantages of the Mucell technology are introduced and those attributes are also presented in the practical example. The experimental part concentrates on detailed description of used materials, facilities, the injection process. Results of weighing, optical microscopy and 3D scanner measuring are presented in the discussion and evaluation part. In the closing part all acquired information is summarized.

Keywords: technology of Mucell, injection process, 3D scanner.

Místopřísežné prohlášení

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, 24.května 2013

.....
*Vladimír Dostál
Žábárna 317
592 42 Jimramov*

Poděkování

Rád bych zde touto formou chtěl poděkovat svému konzultantovi Ing. Jiřímu Habrovi a mému vedoucímu práce prof. Dr. Ing. Petru Lenfeldovi za jejich cenné rady a připomínky při vypracování této diplomové práce.

Rád bych také poděkoval svým rodičům za podporu a trpělivost projevenou v průběhu mého studia na Technické univerzitě v Liberci.

Dále bych chtěl poděkovat firmě Ravensburger Karton s.r.o zejména panu Marcelu Hloušovi, který mně umožnil a podporoval při dálkovém studiu na TU v Liberci.

Obsah

1. Úvod	10
2. Teoretická část	11
2.1 Technologie vstřikování plastů	11
2.1.1 Princip vstřikování plastů	11
2.1.1.1 Diagram vstřikovacího tlaku	12
2.1.2 Vstřikovací cyklus	13
2.1.2.1 Zavření formy	13
2.1.2.2 Vstřikování	13
2.1.2.3 Dotlak	14
2.1.2.4 Plastikace	15
2.1.2.5 Chlazení	16
2.1.2.6 Otevření formy	16
2.1.2.7 Vyhození výstřiku	16
2.2 Technologie výroby lehkých dílů	17
2.2.1. Výroba lehkých dílů pomocí nadouvadel	17
2.2.2. Výroba lehkých dílů pomocí technologie Mucell	18
2.2.2.1 Strojní vybavení pro technologii Mucell	21
2.2.2.2 Princip dávkování technologie Mucell	22
2.2.2.3 Porovnání struktury mezi výrobky zhotovenými technologií Mucell a technologií vstřikovanými s nadouvadly	23
2.2.2.4 Aplikace využití technologie Mucell v praxi	24
2.2.3 GIT – vstřikování plastů s podporou plynu	25
2.2.4 WIT – vstřikování plastů s podporou vody	26
2.2.5 Hybridní technologie	27
2.3 Měření a 3D digitalizace	27
2.3.1 Optický bezdotykový 3D skener ATOS	27
2.3.2 Proces měření	28
2.3.3 Pravidla pro práci s ATOSEM	29
3. Experimentální část	30
3.1 Použité experimentální metody	30
3.2 Materiál	30

3.3 Vstřikovací stroj s technologií Mucell.....	31
3.4 Forma.....	33
3.5 Plastový díl.....	34
3.6 Proces a jeho parametry.....	35
3.6.1 Vstřikovací rychlost.....	35
3.6.2 Teplotní rozložení pásem komory.....	35
3.6.3 Teplota horké trysky.....	36
3.6.4 Dávkování.....	36
3.6.5 Proces Mucell.....	36
3.6.6 Průběh vstřikovacího tlaku před čelem šneku.....	37
3.7 Výsledky z aplikace technologie Mucell.....	37
3.7.1 Vážení.....	38
3.7.1.1 Hmotnost vzorků zhotovených technologií Mucell (dávka 175 cm ³ až 200 cm ³).....	38
3.7.1.2 Hmotnost vzorku zhotovených klasickou technologií vstřikování (dávka 250 cm ³).....	39
3.7.1.3 Hmotnost vzorků zhot. klasickou metodou s přídavkem 3% nadouvadla Maxithem.....	39
3.7.1.4 Hmotnost vzorku zhot. klasickou metodou s přídavkem 3% nadouvadla Hydroceroll ITP 830.....	39
3.7.1.5 Hmotnost vzorku zhot. klasickou metodou s přídavkem 3% nadouvadla Tracell.....	40
3.7.1.6 Celkový přehled o navážených hmotnostech jednotlivých vzorků vyrobenými různými technologiemi.....	40
3.7.2 Optická mikroskopie.....	41
3.7.2.1 Ukázka míst v řezu pořízených fotografií struktury Mucell a nadouvadla.....	41
3.7.3 Měření 3D.....	51
3.7.3.1 Porovnání klasické technologie vstřikování ku technologii Mucell s objemem dávky 180 ccm.	52
3.7.3.2 Porovnání klasické technologie vstřikování ku technologii Mucell s objemem dávky 180 ccm.	53
3.7.3.3 Porovnání klasické technologie vstřikování ku technologii Mucell s objemem dávky 200 ccm.....	54

3.7.3.4 Porovnání klasické technologie vstřikování ku technologiiMucell s objemem dávky 200 ccm.....	55
3.7.3.5 Tloušťka stěny - klasická technologie vstřikování.....	56
4. Ekonomické hodnocení.....	57
5. Diskuze a vyhodnocení.....	60
6. Závěr.....	65
7. Použitá literatura.....	67

Seznam použitých zkratk a symbolů

<i>Označení</i>	<i>Legenda</i>	<i>Jednotka</i>
t_{s1}	<i>doba uzavírání formy</i>	<i>[s]</i>
t_{s2}	<i>doba přísuvu vstřikovací jednotky k formě</i>	<i>[s]</i>
t_{s3}	<i>doba otevírání formy</i>	<i>[s]</i>
t_m	<i>doba otevření formy</i>	<i>[s]</i>
t_v	<i>doba vstřikování</i>	<i>[s]</i>
t_d	<i>doba dotlaku</i>	<i>[s]</i>
t_{pl}	<i>doba plastikace</i>	<i>[s]</i>
t_{ch}	<i>doba chlazení</i>	<i>[s]</i>
s_k	<i>pohyb šneku</i>	<i>[mm]</i>
s_n	<i>pohyb nástroje</i>	<i>[mm]</i>
<i>GIT</i>	<i>technologie vstřikování plastů s podporou plynu</i>	<i>[-]</i>
<i>WIT</i>	<i>technologie vstřikování plastů s podporou vody</i>	<i>[-]</i>
<i>ABS</i>	<i>akrylonitril-butadien-styrenový kopolymer</i>	<i>[-]</i>
<i>PA</i>	<i>polyamid</i>	<i>[-]</i>
<i>PEI</i>	<i>polyetherimid</i>	<i>[-]</i>
<i>LDPE</i>	<i>nízkohustotní polyetylen</i>	<i>[-]</i>
<i>HDPE</i>	<i>vysokohustotní polyetylen</i>	<i>[-]</i>
<i>PPE</i>	<i>Polyfenyleneter</i>	<i>[-]</i>
<i>PPO</i>	<i>polyfenyloxid</i>	<i>[-]</i>
<i>PC</i>	<i>polykarbonát</i>	<i>[-]</i>
<i>PP</i>	<i>polypropylen</i>	<i>[-]</i>
<i>PS</i>	<i>polystyren</i>	<i>[-]</i>
<i>PBT</i>	<i>polybutylentereftalát</i>	<i>[-]</i>
<i>SCF</i>	<i>nadkritické fluidní médium (CO_2, N_2)</i>	<i>[-]</i>
CO_2	<i>oxid uhličitý</i>	<i>[-]</i>
N	<i>dusík</i>	<i>[-]</i>

1. Úvod

Cílem této diplomové práce je aplikovat progresivní technologii Mucell na vybraný plastový díl firmy Ravensburger Karton s.r.o. Na zhotovených plastových dílech bude touto technologií vyhodnoceno ekonomické hledisko úspory materiálu a dále budou porovnány kladné a záporné vlastnosti této technologie v porovnání ke klasické technologii vstřikování a k technologii vstřikování s nadouvadly.

Vzhledem k čím dál větší snaze zlevňovat výrobu ve výrobních závodech skrz celé odvětví průmyslu, je větší zájem o nové postupy, technologie jak těchto požadovaných úspor dosáhnout.

Pro optimalizaci výrobního procesu existuje několik variant, jak tohoto zlevnění výrobku dosáhnout:

- nahradit, zjednodušit lidskou práci stroji*
- časově zkrátit výrobní proces při dosažení většího výkonu*
- konstrukční řešení tvaru výrobku docilovat s co nejmenšími tloušťkami stěn*
- snižovat, nahrazovat potřebné množství materiálu při zachování podobných mechanických, fyzikálních vlastností*
- používat progresivní technologie ke zdokonalení výrobních postupů jako je např. technologie Mucell*

Technologie Mucell, které je tato diplomová práce věnována, patří do druhu technologií, které snižují potřebné množství materiálu pro daný výrobek. Obsah této diplomové práce bude zaměřen na použití technologie Mucell k dosažení ekonomičtějšího výrobního procesu.

Diplomová práce vznikla v rámci řešení projektu studentské grantové soutěže (SGS 28005) na základě podpory specifického vysokoškolského výzkumu na TUL.

2. Teoretická část

2.1 Technologie vstřikování plastů

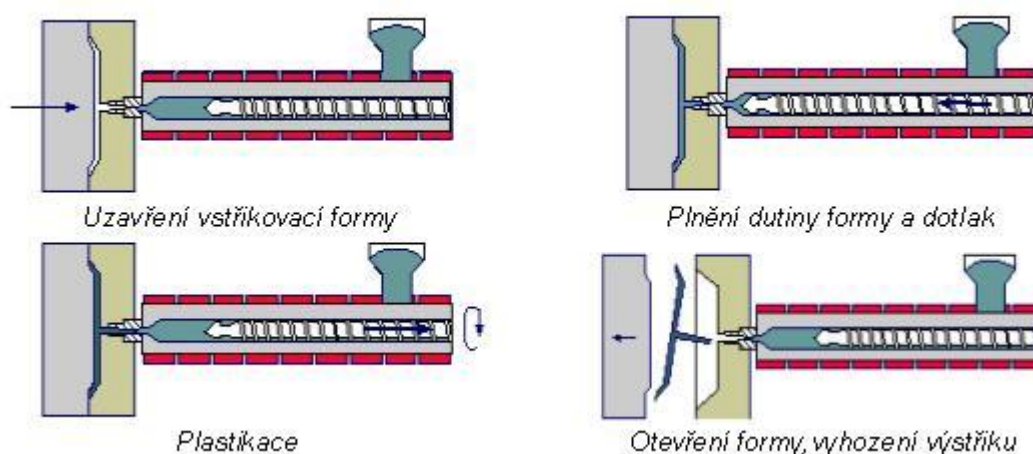
Jedná se o nejpoužívanější technologii pro zpracování téměř všech druhů termoplastů. V omezené míře se vstřikují i některé reaktoplasty a kaučuky. Princip vstřikování plastů je založen na cyklickém opakování specifických úkonů výrobního programu viz obr. 3.

Velkou výhodou této technologie je, že výrobky mají velmi dobrou rozměrovou i tvarovou přesnost a vysokou reprodukovatelnost mechanických a fyzikálních vlastností (drcení či mletí, například zbytku vtokových soustav atd.). Technologie je vhodná pro velkosériovou a hromadnou výrobu.

Nevýhodou této technologie jsou však velké pořizovací náklady na pořízení nových strojů, forem. Popřípadě delší výrobní časy spojené s výrobou nových forem. [1]

2.1.1 Princip

Vysušený materiál (granule) je násypkou dopraven do tlakové komory lisu, kde je vlivem tření pracovního zařízení (pístem, šnekem) o vnitřní stěnu tlakové komory a působením tepla z elektrických odporových těles po obvodu komory pomalu přetaven na taveninu. Roztavená tavenina je vstříknuta a dotlačena z tlakové komory stroje do uzavřené dutiny formy, kde hmota ochlazením ztuhne ve finální výrobek. Následuje otevření formy v dělicí rovině, vyhození výstřiku a zavření formy viz obr. 1. [1]



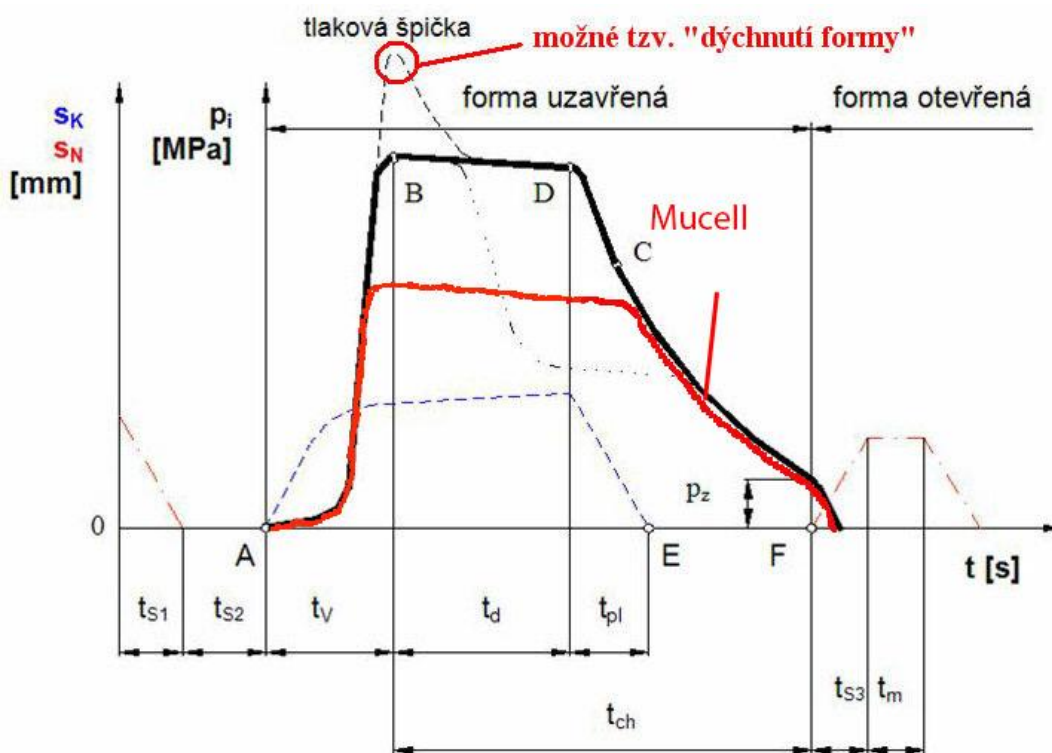
Obr. 1 Princip vstřikovacího cyklu [4]

2.1.1.1 Diagram tlaku během vstřikovacího cyklu v porovnání s klasickou technologií oproti technologii Mucell

Pro snazší názornost a vizualizaci celého vstřikovacího cyklu se využívá diagram průběhu tlaku v dutině formy na čase viz obr. 2. Tento tlak je nazýván vnitřním tlakem se značením p_i . Je to tlak vztažený na jednotku plochy průřezu šneku.

Vzhledem k použití technologie Mucell v této diplomové práci bude v tomto diagramu uvedeno porovnání průběhu tlaku u klasické technologie vstřikování a technologie Mucell (v diagramu červeně značený průběh).

Z diagramu vyplývá, že u technologie Mucell nedochází k tak velkému vnitřnímu tlaku oproti klasické technologii vstřikování. Je to dáno menším obsahem materiálu u technologie Mucell, kdy místo polymeru je z určitého procentuálního množství uvnitř taveniny obsažen plyn. [2]



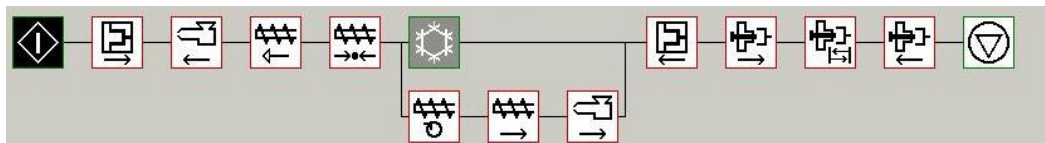
**Průběh vnitřního tlaku p_i v dutině formy během procesu vstřikování
sk-pohyb šneku
sn-pohyb nástroje**

pohyb šneku pohyb formy (nástroje) p_i vnitřní tlak
 $ts1$ -doba uzavírání formy, $ts2$ -doba přísuvu vstřikovací jednotky k formě, $ts3$ -doba otevírání formy, tm -doba otevření formy, tv -doba vstřikování, td -doba dotlaku, tpl -doba plastikace, tch -doba chlazení, sk-pohyb šneku, sn-pohyb nástroje,
A-začátek vstřikování, B-konec plnění formy, C-začátek dotlaku, D-konec dotlaku, E-konec plastikace (pohyb šneku), F-začátek pohybu formy

Obr. 2 Diagram průběhu tlaku během vstřikovacího cyklu [4], [2]

2.1.2 Vstřikovací cyklus

Vstřikovací cyklus je sled operací vedoucí k výrobě výstřiku. Činnost stroje při vstřikovacím cyklu je znázorněna na obr. 3. Výrobní cyklus začíná zavřením formy.



Obr. 3 Schéma výrobního programu vstřikování plastů od firmy Arburg [5]

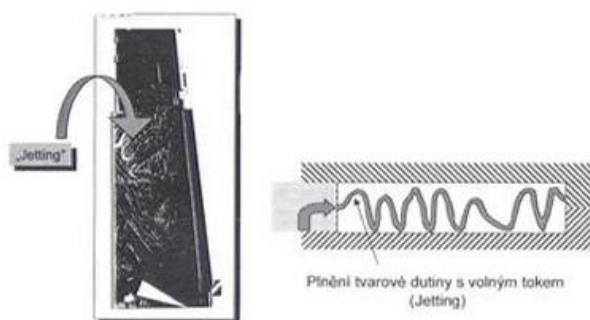
2.1.2.1 Zavření formy

Zavření formy by z hlediska výrobního času cyklu mělo být co nejkratší (nejrychlejší) avšak dosednutí na druhou část formy by mělo být co nejplynulejší tak, aby se nástroj nepoškodil. Forma musí být uzavřena takovou silou, jejíž velikost nedovolí, aby se během vstřikování u dotlaku dostala tavenina z dutiny formy do prostoru dělicí roviny, kde by hrozilo nebezpečí tvorby přestoků. Plastikační jednotka se musí po uzavření formy přisunout k formě proto, aby do ní bylo možné vstříknout taveninu. [1], [3]

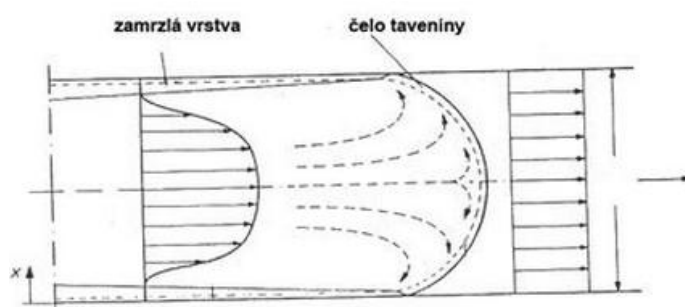
2.1.2.2 Vstřikování

V této části výrobního cyklu dochází k plnění dutiny taveninou, která je vstřikována axiálním pohybem šneku. Rychlost pohybu šneku vpřed je závislá na technologických podmínkách, jako je teplota taveniny a vstřikovací tlak. Vstřikovací tlak je také závislý na typu vstřikovacího stroje. Obecně platí, že při nízkém tlaku nelze vstřikovat vysokou rychlostí. Další důležité podmínky jsou teplota formy, tvar a objem výstřiku, druh materiálu, průměr vstřikovací trysky a také konstrukce vtokové soustavy výstřiku. Doba plnění dutiny formy úzce souvisí s objemem a tvarem výstřiku, kdy pro objem menší a tvarem jednoduchý výstřik je doba menší než pro výstřik objemem větší a tvarem složitější. Plnění dutiny by mělo být co nejkratší z toho důvodu, že tavenina se stykem s chlazenou formou se ochlazuje a ztrácí tekutost a důsledkem toho může být nedostříknutý výstřik. Plnění formy volným paprskem je ukázáno na obr. 4. Na obr. 5 je ukázáno chladnutí taveniny po obvodu při plnění formy při zachování plastického jádra. Teplota formy je cca 3x až 4x menší, než je teplota taveniny. Konec fáze vstřikování, kdy je dutina formy zcela naplněná, se vyznačuje prudkým nárůstem tlaku ve formě a poklesem vstřikovací rychlosti. Tento prudký nárůst tlaku je do určité míry kompenzován následující fází, dotlakem, při kterém tlak ve formě poklesne. [1], [3]

Proces plnění může nastat dvěma způsoby, jak je ukázáno na obr. 4 a obr. 5.



Obr. 4 Plnění volným vtokem [4]



Obr. 5 Laminární tok taveniny plastů [4]

2.1.2.3 Dotlak



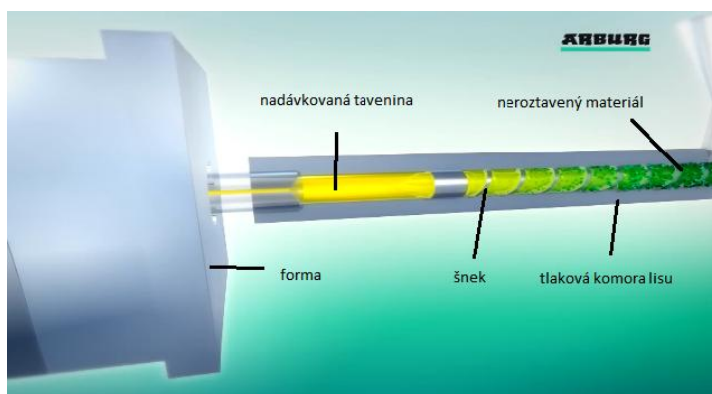
Všeobecně dotlak kompenzuje ve vstřikovacím cyklu zmenšení objemu (smrštění) taveniny, ke které dochází vlivem jejího chladnutí ve formě. Další úlohou dotlaku ve vstřikovacím cyklu je zmenšení tlaku uvnitř dutiny formy, ke které by docházelo při konstantní vstřikovací rychlosti. Konstantní vstřikovací rychlost by měla za následek tvorbu tlakové špičky a to by mělo za důsledek zvyšování hmotnosti výstřiku a jeho rozměrů. Na obr. 2 je znázorněn průběh tlaku před šnekem.

Důležité je i jeho správné načasování, kdy opožděné přepnutí by vedlo k tlakové špičce na výstřiku a mohlo by dojít i k tzv. „dýchnutí“ formy, to je stav, kdy by uzavírací síla stroje byla menší než vnitřní tlak ve formě. Tento fakt by mohl mít za následek možné částečné otevření formy. Při předčasném přepnutí mezi vstřikovací rychlostí a dotlakem by naopak výstřik nemusel být kompletně naplněný taveninou. Úkon dotlačování ve vstřikovacím cyklu má tedy značný vliv na výsledné vlastnosti výstřiku a její správný průběh napomáhá k dokonalému vyplnění formy. [1], [3]

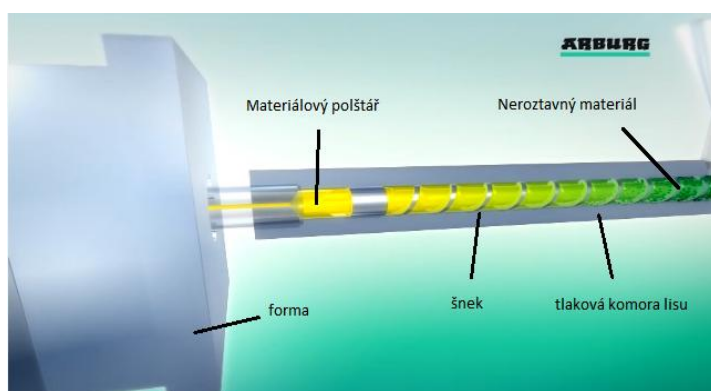
2.1.2.4 Plastikace



Účelem plastikace je nadávkování potřebného stejnoměrného množství taveniny pro další cyklus před čelo šneku viz obr. 6. Během plastikace se materiál vlivem rotačního pohybu šneku zpět natavuje o stěny tlakové komory (třením) a také přijímá teplo od el. topných těles umístěných na obvodu tlakové komory. Poměr je asi dvě třetiny třením a jedna třetina el. topnými tělesy. Doba plastikace nehraje na délku výrobního cyklu žádnou roli. Zatímco výstřik ve formě chladne, plastikační jednotka lisu dávkuje potřebné množství taveniny pro další cyklus. Velikost zplastikované dávky musí zabezpečit naplnění tvarové dutiny formy a vtokového systému, ale i kompenzovat změnu objemu, vyvolanou smrštěním. Je však nutné si uvědomit, že se posuvem šneku vzad snižuje účinná délka šneku, a proto musí být zpětný tlak zvyšován. [1], [3]



Obr. 6 Schéma nadávkované tlakové komory lisu před začátkem cyklu [5]



Obr. 7 Schéma vyprázdněné tlakové komory lisu po konci cyklu [5]

2.1.2.5 Chlazení

V této části výrobního cyklu dochází ke chladnutí taveniny ve formě. Začátek chlazení začíná již při prvním vstříknutím taveniny do dutiny formy více viz. obr. 4 a probíhá až do úplného ztuhnutí a vyjmutí výstřiku z formy. Doba chlazení je časově nejdelší fází v celém vstřikovacím cyklu. Délka závisí zejména na tloušťce stěny výrobku. Obecně platí, že se s rostoucí tloušťkou stěny prodlužuje chladnutí výstřiku geometrickou řadou. Dále doba chlazení závisí také na konkrétním druhu polymeru, teplotách taveniny, formy a výstřiku před vyjmutím z formy. [1], [3]

2.1.2.6 Otevření formy

Po zchladnutí výstřiku ve formě následuje otevření formy. Dráha otevření formy by měla být co nejkratší z důvodu výrobního času cyklu výstřiku. Příliš malá dráha otevření formy je však limitována rozměry výstřiku pro vyhození. Další hledisko spočívá v dostatečném prostoru pro manipulátor, robot, pro jeho následné třízení či pro odebrání vtokové soustavy. Pro otevření formy se používají co největší rychlosti. Rychlost otevírání formy by však v poslední fázi dojetí měla být malá z důvodu plynulého dojetí formy. Moderní vstřikovací zařízení umožňují již během částečného otevření formy vyjetí vyhazovacího systému a tím zkrátit výrobní čas. [1], [3]

2.1.2.7 Vyhození výstřiku

Vyhození výstřiku z formy by mělo být co nejrychlejší z důvodu co nejkratšího výrobního cyklu. V praxi se nejvíce používají dva základní způsoby vyhození a to:

Mechanicky

Za pomoci stavitelného dorazu stroje při otvírání formy. Do zasunuté polohy jsou vyhazovače vráceny při uzavírání formy opěrným (vratným) kolíkem.

Hydraulicky

Samotný hydraulický vyhazovací systém stroje je mechanickou spojkou propojen s čepem vyhazovacího systému formy. Pohyb vyhazovačů formy není mechanicky vázán na pohyb formy při jejím otvírání či zavírání. Pracovní kapalinou je zde olej. [1], [3]

2.2 Technologie výroby lehkých dílů

V současné době jsou čím dál více kladeny nároky na snížení nákladů při výrobě plastových dílů. Jednou z moderních možností je použití progresivních speciálních technologií. V této kapitole budou představeny speciální technologie, které svojí podstatou vedou k úspoře materiálu.

Mezi tyto technologie patří:

- *Výroba lehkých dílů pomocí nadouvadel*
- *Výroba lehkých dílů pomocí technologie Mucell (mikrobuněčné pěnové tvarování)*
- *GIT – vstřikování plastů s podporou plynu*
- *WIT – vstřikování plastů s podporou vody*
- *Hybridní technologie*

2.2.1. Výroba lehkých dílů pomocí nadouvadel

Fyzikální a chemická nadouvadla se používají k strukturnímu lehčení plastů. Nadouvadla se během zpracování za zvýšené teploty rozkládají a vzniká plyn, který způsobuje pórovitost výrobku. Nadouvadlo se přimíchává do granulí materiálu ještě před začátkem procesu dávkování.

Mezi výhody technologie patří:

- *nízká hustota,*
- *výborná akustická i tepelná izolace, mechanické tlumení, nízká propustnost pro vodní páry a snížená absorpce vlhkosti,*
- *možnost použití technologie na klasických vstřikovacích strojích.*

Mezi nevýhody technologie patří:

- *vzhledové vlastnosti vstřikovaných dílů (šmouhy na povrchu),*
- *dobu chlazení je mnohem delší v důsledku špatného přenosu tepla,*
- *pórovitost materiálu u použití nadouvadel není po celém obsahu homogenní, jak je ukázáno na obr. 13, obr. 42, obr. 43 a obr. 44. [12]*

2.2.1.1 Z hlediska tlaku můžeme rozdělit technologii vstřikování termoplastů na:

1) nízkotlaký způsob

U tohoto procesu se tlak plynu pohybuje mezi 2,1 až 3,4 MPa. Dávka taveniny se neprovádí na 100 % objemu dutiny, ale počítá se s expanzí plynu, která dávku taveniny do dutiny formy doplní. Dávka vstřiku taveniny se pohybuje v rozmezí 80 až 90 %.

2) vysokotlaký způsob

V tomto procesu je tlak vyšší, jak 3,4 MPa. Mezi nevýhody patří vzhledové vady na povrchu a dlouhý čas po vytěkání nadouvadla. [1], [7]

2.2.2. Výroba lehkých dílů pomocí technologie Mucell

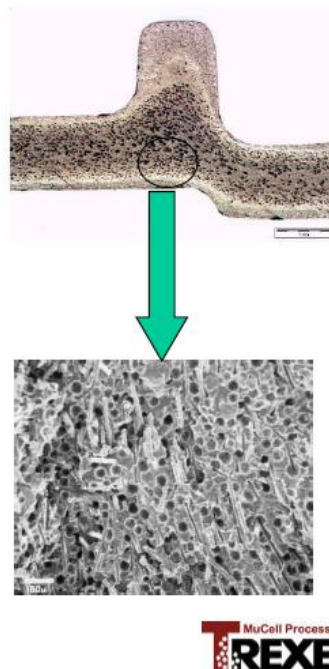
Technologie Mucell byla vyvinuta na Massachusettském institutu technologií v roce 1945 ve spolupráci se společností TREXEL, která je jediným majitelem licence této technologie.

Technologie Mucell je speciální proces výroby strukturních pěn, kdy za vysokého tlaku je přiveden plyn (dusík, oxidu uhličitý) do roztavené taveniny polymeru ve vstřikovací jednotce. Ve výstřiku dojde vlivem přivedeného plynu ke vzniku několika miliónu malých bublin o velikosti 5 - 50 μm . Na povrchu plastového dílu se vytvoří celistvá povrchová vrstva s napěněným jádrem uvnitř viz obr. 8.

Tato technologie poskytuje velmi malé a stejnoměrné bublinky. Tím se dosahuje významného snížení hustoty při zachování dostatečné mechanické pevnosti. Technologie Mucell je určena ke zpracování plastů pro výrobu lehčených výrobků vstřikováním, vytlačováním, ale také i vyfukováním. [6], [10]

Doporučené materiály pro technologii Mucell jsou:

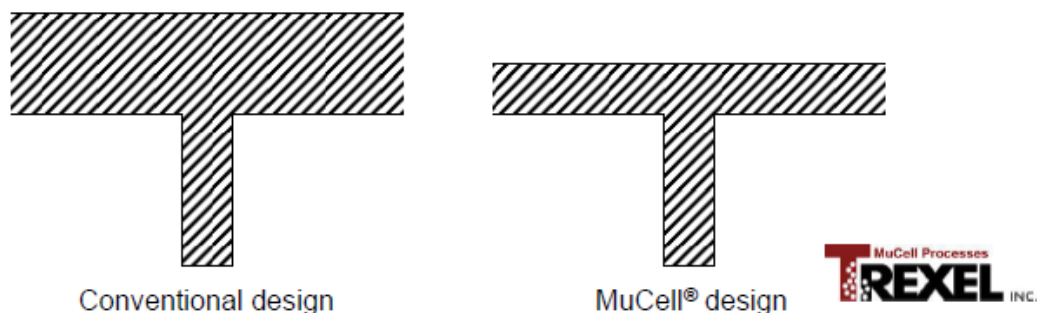
- | | | |
|--------|---------|------------|
| • ABS, | • LDPE, | • PC, |
| • PA, | • HDPE, | • PP, |
| • PEI, | • PPE, | • PS, |
| | • PPO, | • PBT. [6] |



Obr. 8. - Struktura výstřiku po použití technologie Mucell [8]

Mezi výhody technologie patří:

- *odlehčení vstřikovaných plastových dílů a to o 6 až 30 % s deklarovanými mechanickými vlastnostmi od společnosti Trexel. (v krajních případech i 40%), z toho vyplývá úspora ekonomických nákladů pro výrobce,*
- *homogenní rozložení mikrobublin po celém obsahu plochy,*
- *technologie Mucell je charakteristická výrazným zlepšením tvarových a rozměrových nepřesností (o 50 - 75 %), jako je rovinnost, válcovitost, zkroucení a zcela odstraňuje po celé ploše výstřiku staženiny přivedeným množstvím plynu uvnitř, který kompenzuje míru smrštění,*
- *zkrácení výrobního cyklu až o 20 %, z důvodu odstranění fáze dotlaku ze vstřikovacího cyklu,*
- *pro technologii Mucell nejsou zapotřebí tak velké vstřikovací stroje, uzavírací síla je až o 60 % menší oproti klasické technologii vstřikování,*
- *technologie Mucell nám rozšiřuje prostor v rámci konstrukce forem (z obr. 9 je patrné, že tloušťka stěny pod žebrem nemusí být tak tlustá oproti klasické technologii vstřikování z důvodu staženin na povrchu),*
- *menší orientace makromolekul. [8], [10]*



Obr. 9 Tloušťka stěny klas. způsobu vstřikování (vlevo) a technologie Mucell (vpravo) [8]

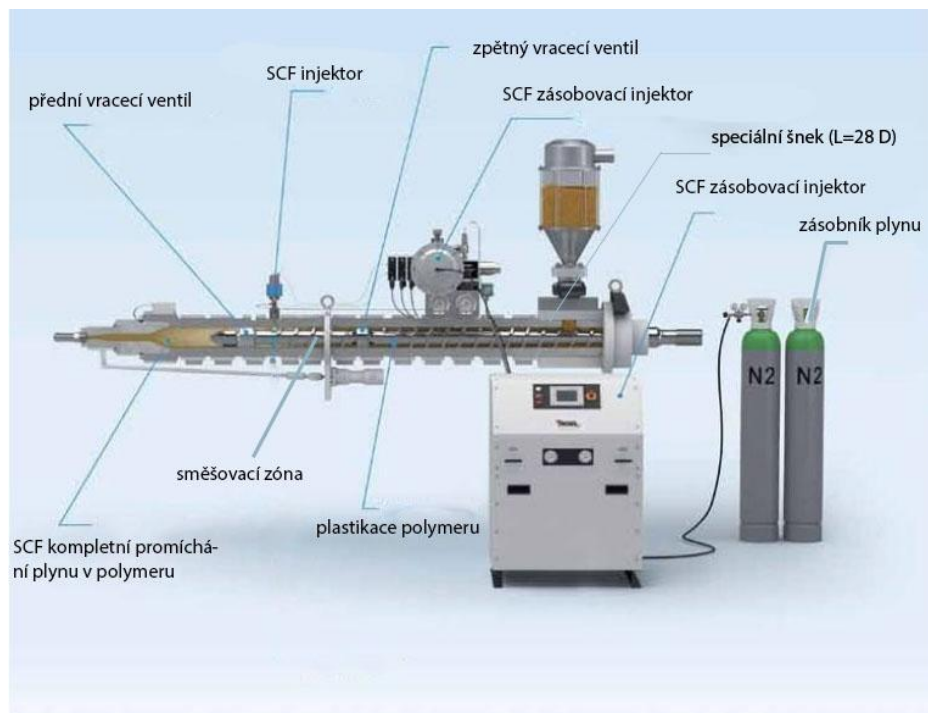
Mezi nevýhody technologie patří:

- vzhledové vlastnosti vstřikovaných dílů (šmouhy na povrchu),
- drahé pořizovací náklady této technologie vztahující se k její patentové ochraně,
- nutná přídatná zařízení (zdroj plynu, regulátor tlaku plynu, tlakové trysky, atd.)
doba chlazení se prodlužuje z důvodu expandování plynu uvnitř výstřiku k dosažení rovnoměrného a stejnoměrného povrchu. [6], [8], [13]

2.2.2.1 Strojní vybavení pro technologii Mucell

Zařízení se skládá (viz. obr. 10 schéma zařízení pro technologii Mucell):

- zásobník z plynu - zásoba plynu pro výrobu,
- SCF zásobovací injektor - řídicí jednotka, která komunikuje se vstřikolisem a pomocí této řídicí jednotky můžeme nastavit parametry týkající se technologie Mucell,
- speciální šnek,
- SCF zásobovací injektor,
- SCF injektor - jehla, pomocí které dodáváme plyn do roztavené taveniny polymeru,
- SCF- fyzikální nadouvadlo - (nadkritické fluidní médium CO_2 , N_2), které umožňuje homogenní tvorbu buněk se stejnou velikostí, pod kritickou velikostí defektu tak, aby byl tvořen jednofázový systém mezi taveninou a fyzikálním nadouvadlem. [8], [10]

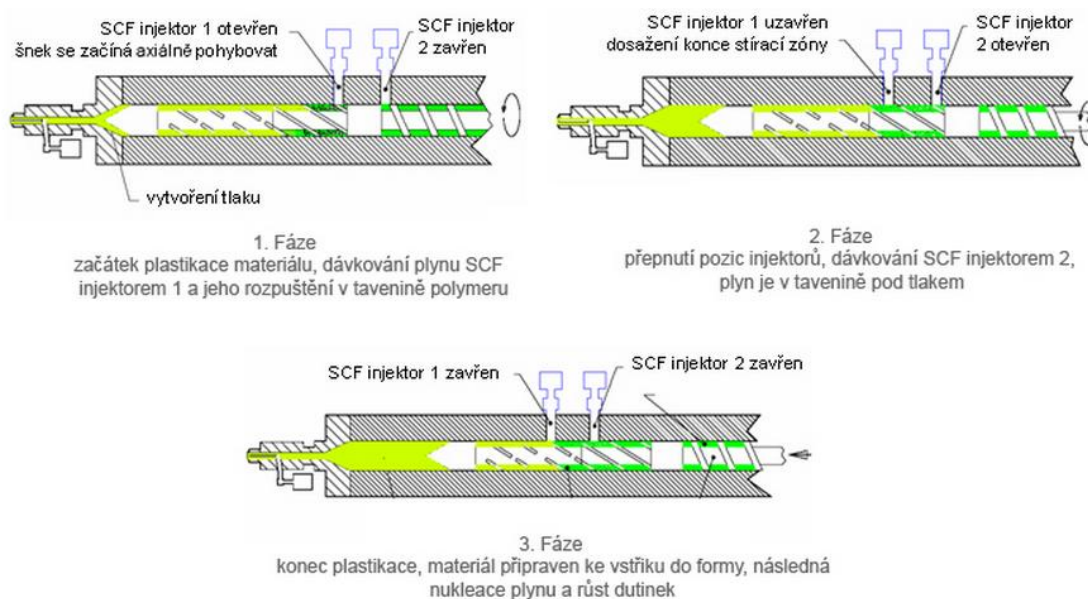


MuCell Processes
TREXEL INC.

Obr. 10 Schéma zařízení pro technologii Mucell [8], [16]

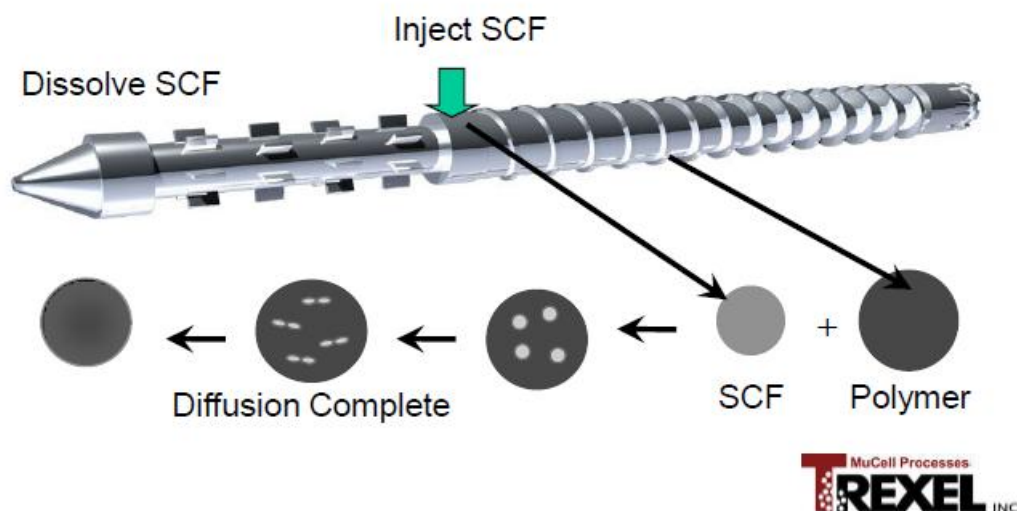
2.2.2.2 Princip dávkování technologie Mucell

Rozdíl, oproti klasické technologii, je v přivedení plynu do tlakové komory, kde dojde ve směšovací zóně za velkých tlaků k promísení taveniny a plynu. Promísení probíhá ihned po přivedení plynu do tlakové komory. Jako plyn se používá CO_2 či N. Princip je naznačen na obr. 11 - na schématu jsou použity dva injektory (dva vstupy pro přívod plynu).



Obr. 11 Proces dávkování materiálu při použití technologii Mucell [14]

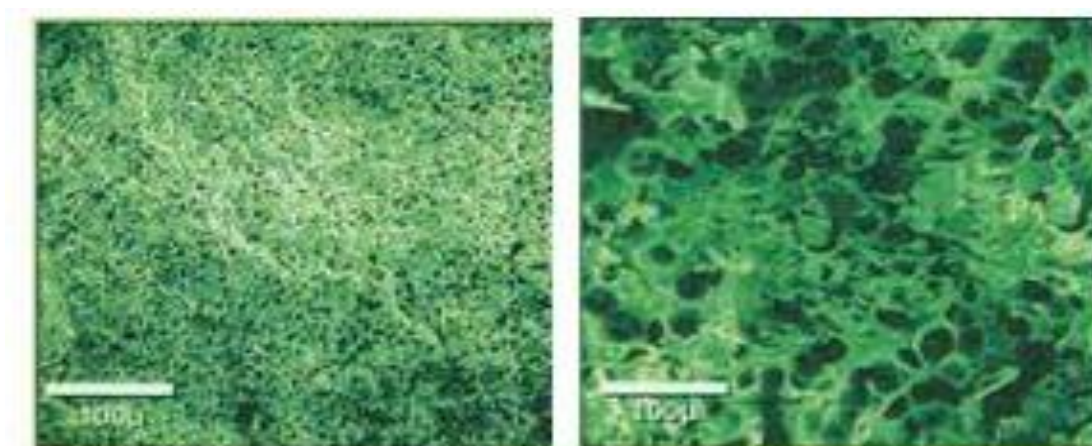
Šneky pro technologii Mucell jsou odlišné od klasické technologie. Kompresní poměr je jiný s porovnáním klasické technologie vstřikování. Z dalších rozdílů je i jiné konstrukční a tvarové řešení v přední části šneku, více viz obr. 12.



Obr. 12 Schéma šneku [8]

2.2.2.3 Porovnání struktury mezi výrobky zhotovenými technologií Mucell a technologií vstřikovanými s nadouvadly

Rozdílem mezi těmito dvěma technologiemi je nerovnoměrné rozložení velikostně stejných dutin bublin plynu ve struktuře u technologie Mucell oproti klasické technologii výroby strukturních materiálů s nadouvadly jak ukazuje obr. 13 a jak je ukázáno v další kapitole na obr. 42, obr. 43 a obr. 44.



Obr. 13 Rozdíl mezi výrobky zhotovenými technologií Mucell (vpravo) a technologií vstřikovanými s nadouvadly (vlevo) [12]

2.2.2.4 Aplikace využití technologie Mucell v praxi

V současné době se klade velký význam na co největší ekonomickou úsporu financí ve výrobním procesu. Technologie Mucell přináší zachování mechanických vlastností při úspoře až do 30 % materiálu. Pro názornou ukázkou technologie Mucell jsou ukázány některé příklady použití technologie Mucell v praxi viz obr. 14 a obr. 15. [8]



Obr. 14 Kryt motoru (vlevo), přístrojová deska osobního automobilu (vpravo) [11]



Obr. 15 Další příklady použití technologie Mucell [8]

2.2.3 GIT – vstřikování plastů s podporou plynu

Princip této technologie spočívá v naplnění dutiny uvnitř výstřiku plynem k dosažení výlisků s dutinou uvnitř. Jako plyn se používá dusík. Přivedením plynu do dutiny výstřiku se výrazně sníží jeho hmotnost až o 50%. Tomu musí odpovídat i konstrukční řešení formy. V této technologii, podobně jako u Mucellu, přebírá plyn fázi dotlaku, s tím je spojené zkrácení výrobního cyklu o jeho délku.

Rozdílem oproti vstřikování s nadouvadly a Mucellem je přivedení plynu až do nastříknuté dutiny formy taveninou. Zpoždění přivedení plynu ovlivňuje výslednou tloušťku výstřiku. Čím déle se plyn přivede, tím větší je tloušťka stěny. Princip technologie GIT je ukázán na obr. 16.

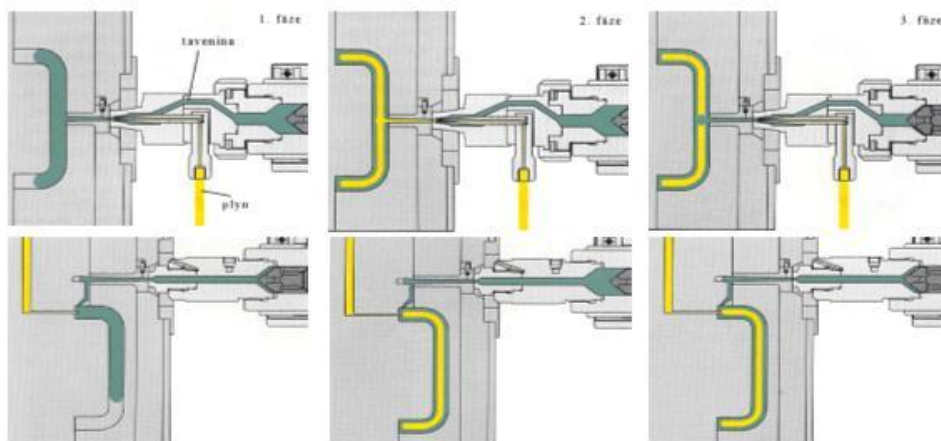
Mezi výhody technologie GIT patří:

- úspora hmotnosti až o 50 %, s tím je spojené i zkrácení výrobního cyklu,
- snížení deformace výstřiku z důvodu dotlačení zevnitř plynem,
- snížení uzavírací síly, s tím jsou spojené menší lisy,
- vysoký stupeň tuhosti u dílů s žebry a zachování požadovaných mechanických vlastností.

Mezi nevýhody technologie GIT patří:

- drahé pořizovací náklady stroje a nástroje,
- řízení procesu,
- omezená realizovatelnost vícenásobných forem. [4]

Možnosti přívodu plynu:



Obr. 16 Nahoře - tryskou, dole - jehlou, injektorem [14]

2.2.4 WIT – vstřikování plastů s podporou vody

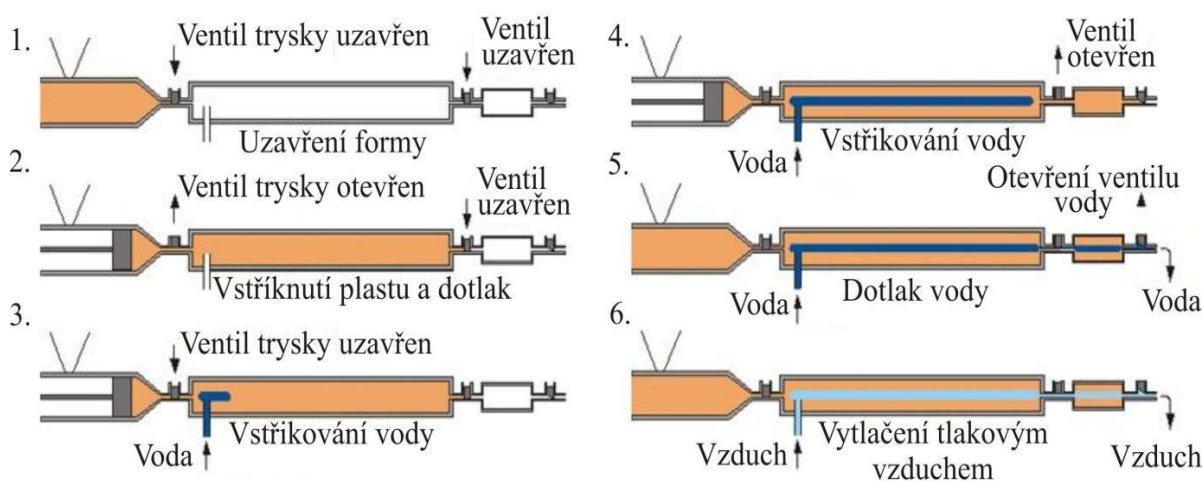
Tato technologie je principiálně podobná s technologií GIT. Místo plynu se však do dutiny formy přivádí voda oproti plynu (viz obr. 17). Voda se přivádí do dutiny formy pomocí vodní pumpy. Teplota vody musí být temperována dle druhu plastu na určitou teplotu tak, aby se tavenina ihned neochladila s dotykem plastu a dutina formy se kompletně vyplnila po obvodu plastem a uvnitř vodou. Voda v dutině se odsává zpět či je vytlačována mimo formu. Má řadu výhod, ale i nevýhod. Výhody a nevýhody jsou porovnatelné jak u technologie GIT.

Mezi výhody technologie WIT patří:

- zkrácení cyklu o 10 až 20 %, z důvodu intenzivnějšího chlazení výstřiku vodou zevnitř,
- úspora hmotnosti až o 50 %, s tím je spojené i zkrácení výrobního cyklu,
- zevnitř výstřiku hladší povrch,
- WIT lze použít i na výrobu dílců, které metodou GIT nelze realizovat.

Mezi nevýhody technologie WIT patří:

- drahé pořizovací náklady stroje a nástroje,
- vysoká kvalifikace pracovníků,
- vstříknutí vody se musí provést dostatečně rychle, aby se zabránilo hydrolytickému rozkladu plastu. [4]



Obr. 17 Princip WIT technologie [15]

2.2.5 Hybridní technologie

Principem hybridních technologií je skutečnost, že tavenina plastu je nastříknuta na jiný materiál (kov, textilie, a jiné.) a dojde ke spojení těchto dvou materiálů ke vzniku jednoho výrobku s lepšími vlastnostmi. Zároveň dojde k úspoře hmotnosti materiálu plastu, ke zlepšení korozní odolnosti, vzhledu, apod. Technologie je založena na vkládání různých materiálů ve formě polotovaru nebo předtvarovaného dílu do dělicí roviny vstřikovací formy, pro zlepšení vzhledových vlastností výrobku nebo pro výrobu dílů s vysokou kvalitou povrchu. [4]

2.3 Měření a 3D digitalizace

Díky technologii nazývané 3D digitalizace se dá převést 3-rozměrný reálný objekt do digitální podoby. Zařízení, která nám tento převod umožní, se nazývají 3D skenery. Skenery se od sebe liší hlavně tím, jakým způsobem dochází ke snímání bodů povrchu objektu. Podle způsobu snímání bodů je lze rozdělit na: [9]

- optické,
- dotykové,
- laserové,
- destruktivní,
- rentgenové,
- ultrazvukové.

2.3.1 Optický bezdotykový 3D skener ATOS

ATOS je mobilní bezdotykový optický 3D skener firmy GOM určený pro nejrůznější aplikace. Jeho vysoká výkonnost, velké rozlišení (1 snímek obsahuje přibližně 400 000 pixelů) a široká flexibilita měřicích objemů umožňující přesnou a efektivní kontrolu kvality výroby, ukládání optimalizovaných dat z design aplikací, skenování poškozených tvarových vložek a celých sestav lisovacích nástrojů a vstřikovacích forem. Uplatnění tedy nalezne v technologiích CAD, CAM nebo FEM. Měření je založeno na principu triangulační metody a digitálního image processingu. [9]

Před zahájením samotného skenování se objekt musí polepit pomocnými body, přes které systém vypočte pozici měřících senzorů a změřené hodnoty transformuje přímo do souřadného systému objektu. Na povrch objektu jsou promítány pruhy světla, které pomocí dvou kamer jsou snímány z různých úhlů.

Digitálním zpracováním obrazu se s vysokou přesností vypočtou 3D souřadnice každého pixelu na snímku pro každou kameru zvlášť viz obr. 18 a obr. 19. Protože triangulace je založena na CCD geometrii a projektor je při měření současně kalibrován, nedochází při změnách okolního osvětlení ke zkreslení souřadnic. Přesnost měření, která se pohybuje v rozmezí $\pm 0,05$ mm, se dá srovnat.

Všechny systémy ATOS mohou být doplněny o počítačem řízený rotační stůl, což je vhodné pro opakovaná měření stejných dílů. V případě požadavku plné automatizace měření je k dispozici počítačem řízený průmyslový robot. [9]



Obr. 18 - 3D optický skener

2.3.2 Proces měření:

- *hustota dat je dána použitým zařízením a pohybuje se v rozmezí od 5 000 000 do 12 000 000 bodů na 1 záběr,*
- *proces měření je založen na principech optické triangulace, fotogrammetrii a metody Fringe Projection,*
- *na povrch objektu jsou promítány pruhy světla, které jsou snímány pomocí dvou kamer s CCD čipem,*
- *software z těchto záběrů vypočítá prostorové souřadnice jednotlivých bodů,*

- *automatické složení jednotlivých záběrů do jednoho celku je zajištěno referenčními značkami nebo metodou best fit na skenovaný tvar,*
- *za účelem naskenování celého objektu lze pohybovat skenerem i měřeným objektem. [9]*

2.3.3 Pravidla pro práci s ATOSEM:

- *Před vlastním měřením je vhodné provést kalibraci systému pomocí kalibrační desky.*
- *Při vytváření skenů musíme povrch objektu nastavit tak, aby nebyl přexponovaný (přesvícený) nebo podexponovaný (podsvícený).*
- *V každém skenu, musí být viditelné nejméně tři referenční body z předchozího skenu, aby mohl systém skeny navázat.*



Obr. 19 - 3D optický skener

- *Při snímání musíme dodržet stejnou vzdálenost kamer od objektu.*
- *Pro správné naskenování objektu je zapotřebí na jeho plochu nastříkat po celé jeho ploše rovnoměrně křidu (zviditelnění objektu pro 3D skener). [9]*

3. Experimentální část

Cílem této diplomové práce bylo použít a aplikovat progresivní metodu Mucell na vyráběný plastový díl. Experimentální část se zabývá vážením - porovnáním hmotnosti různých dávek od 175 ccm do 200 ccm s klasickou technologií. Na této skutečnosti pomocí optické mikroskopie porovnat výslednou strukturu technologie Mucell. Další bod experimentální části je měření deformací, rozměrů v porovnání klasické technologie s technologií Mucell.

3.1 Použité experimentální metody

a) Optická mikroskopie - struktura byla pozorována a dokumentována na mikroskopu s digitálním záznamem Neophot 21 viz obr. 21.

b) Vážení hmotnosti - hmotnost byla vážena na digitální laboratorní váze G&G JJ2000 s přesností vážení 0,1 g.

c) 3D digitalizace a měření - tvar a jeho geometrická přesnost byla porovnávána na optickém bezdotykovém 3D skeneru ATOS obr. 18, obr. 19.

3.2 Materiál

Materiál pro zhotovení vzorků byl použit PS Krasten 336 M. Technický list o tomto materiálu je zobrazen na obr. 20 Technický list PS Krasten 336M.

SYNTHOS PS HI 336M

High Impact Polystyrene - HIPS

Technical Data Sheet
Date of edition: 2012-04-01
Edition: 1
Approved by: Product Manager - František Svoboda
Previous editions of this document have lost their validity.

CHARACTERISTICS

SYNTHOS PS HI 336M is high-impact polystyrene (HIPS) with very easy flow – good processability. It is a thermoplastic material designed for injection moulding.
Product has a form of lens granules of diameter 2,5 to 4 mm.

GENERAL REQUIREMENTS

The product may contain small amounts of granulate finer than that mentioned above of irregular shapes. Presence of any mechanical impurities in the granulate is not allowed.
SYNTHOS PS HI 336M is an opaque plastic.

TECHNICAL PARAMETERS AND PROCESSING CONDITIONS

Parameters	Unit	Typical value	Standard/ Method	Note
Melt mass-flow rate (MFR)	g/10 min	11 – 13	ISO 1133/H	200 °C; 5 kg
Charpy impact strength	kJ/m ²	70	ISO 179/1eU	23 °C
Charpy notched impact strength	kJ/m ²	5	ISO 179/1eA	23 °C
Vicat softening temperature	°C	82	ISO 306/B50	50 °C/h; 50 N
Residual styrene content	%	0,025	Internal	-
Flammability ¹⁾	Class	HB	UL 94	1,6 mm
Moulding shrinkage	%	0,3 – 0,6	Internal	-
Processing conditions				
Temperature/Time of drying ²⁾	°C/h	70 / 2 - 4	-	hot-air drier
	°C/h	70 / 1	-	drier with a molecular sieve
Injection moulding: Melt temperature	°C	180 - 260	-	-
Injection moulding: Mould temperature	°C	10 – 60	-	-
Extrusion: Melt temperature	°C	200 - 240	-	-

¹⁾ Tested in Electro-technical testing Institute, Prague, Czech Republic.

²⁾ For products with high quality of surface

Guaranteed values of relevant technical parameters of the product are each time agreed upon in the sales contract.

To each shipping lot/delivery a quality certificate including data on properties of the product determined during release control is issued. Scope of the testing which is covered by the quality certificate is each time agreed upon in the sales contract.

Synthos Kralupy a.s., O. Wichterleho 810, 278 01 Kralupy n. Vltavou,
tel. +420 315 711 111, fax +420 315 723 566
www.synthosgroup.com

synthos
PS

Obr. 20 Technický list PS Krasten 336M

3.3 Vstřikovací stroj s technologií Mucell

Vzorky byly zkoušeny na vstřikovacím lisu Arburg Allrounder 470 S s použitým zařízením pro technologii Mucell. Technická data lisu Arburg Allrounder 470 S jsou uvedeny na obr. 23. Na obr. 21. a obr. 22 je ukázán vstřikovací stroj a použité zařízení pro technologii Mucell.



Obr. 21. Vstřikovací stroj Arburg



Obr. 22 Zařízení Mucell

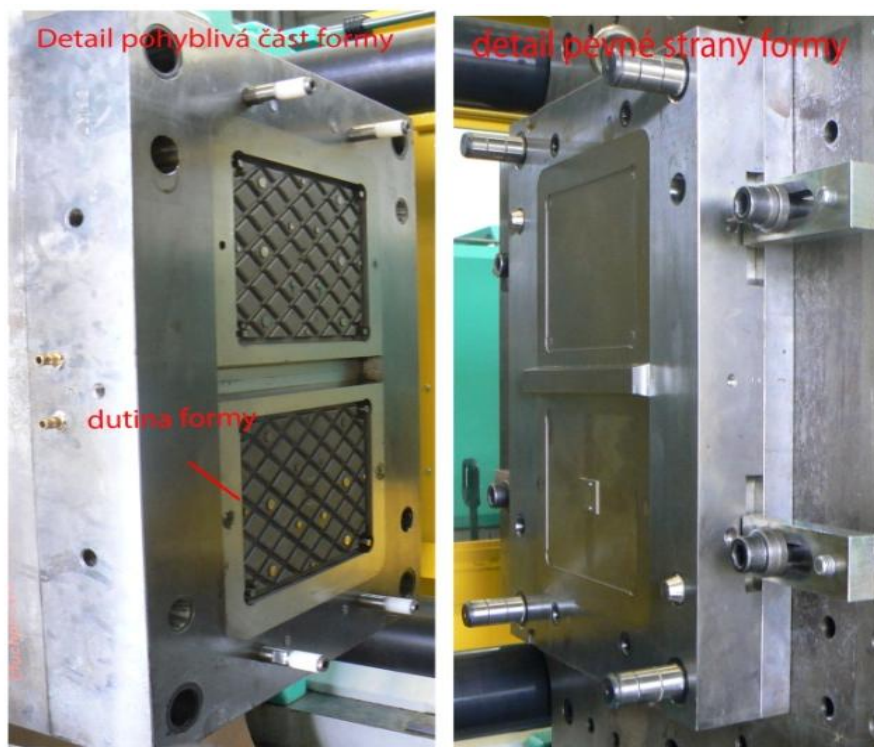
Parametry vstřikovacího stroje Arburg Allrounder 470 S

Maschinentyp		470 S	470 S	470 S
EUROMAP-Größenangabe ¹⁾		800-170 1000-170 1100-170	800-290 1000-290 1100-290	1000-400 1100-400
Schließeinheit				
Schließkraft	max. kN	800 1000 1100	800 1000 1100	1000 1100
Zufuhrkraft	max. kN	50	50	50
Öffnungskraft / erhöht	max. kN	34/ 255	34/ 255	34/ 255
Öffnungsweg	max. mm	500	500	500
Werkzeugeinbauhöhe	min. mm	250	250	250
Abstand zwischen den Aufspannplatten	max. mm	750	750	750
Lichter Säulenabstand	mm	470 x 470	470 x 470	470 x 470
Werkzeugaufspannplatten (b x h)	mm	637 x 637	637 x 637	637 x 637
Gewicht bew. Wkz.-Hälfte	max. kg	760	760	760
Auswerferkraft	max. kN	40	40	40
Auswerferweg	max. mm	175	175	175
Hydraulik, Antrieb, Sonstiges				
Antriebsleistung der Hydraulikpumpe	kW	15 18,5 18,5	15 18,5 18,5	18,5 22
Trockenlaufzeit bei Öffnungshub ²⁾	s-mm	2,3 (1,8)-329 2,1 (1,8)-329 1,8-329	2,3 (1,8)-329 2,1 (1,8)-329 1,8-329	2,1 (1,8)-329 1,8-329
Installierte Gesamtleistung ²⁾	kW	26,1 29,6 29,6	23,9 27,4 27,4	30,4 33,9
Farbe: Kunststoffbeschichtung Struktur lichtgrau / mintgrün / rapsgelb				
Schaltschrank				
Sicherheitsvorschrift		DIN EN 60204	DIN EN 60204	DIN EN 60204
Steckdosenkombination (1 Schuko, 1 Cekon)		1 x 16 A	1 x 16 A	1 x 16 A
Spritzeinheit		170	290	400
Schneckendurchmesser	mm	25 / 30 / 35	30 / 35 / 40	35 / 40 / 45
Wirksame Schneckenlänge	L/D	24 / 20 / 17	23,3 / 20 / 17,5	23 / 20 / 18
Schneckenweg	max. mm	120	150	160
Rechnerisches Hubvolumen	max. cm ³	59 / 85 / 115	106 / 144 / 188	154 / 201 / 254
Schussgewicht	max. g PS	54 / 77 / 105	97 / 132 / 172	141 / 184 / 232
Materialdurchsatz ⁴⁾	max. kg/h PS	10 / 13,5 / 16	17 / 20,5 / 24,5	25 / 29 / 35
	max. kg/h PA 6.6	5 / 7 / 8	8,5 / 10,5 / 12,5	12,5 / 15 / 17,5
Spritzdruck ³⁾	max. bar	2500 / 2000 / 1470	2500 / 2000 / 1530	2500 / 2000 / 1580
Einspritzstrom ³⁾	max. cm ³ /s	94 / 136 / 186 120 / 172 / 236	102 / 140 / 182 130 / 178 / 232	128 / 168 / 212
		120 / 172 / 236	130 / 178 / 232	128 / 168 / 212
Einspritzstrom mit Speicher	max. cm ³ /s	216 / 312 / 424	316 / 430 / 562	492 / 642 / 814
Staudruck positiv / negativ	max. bar	350 / 200	350 / 200	350 / 160
Schneckenumfangsgeschwindigkeit	max. m/min	49 / 59 / 69 63 / 75 / 80	46 / 54 / 62 59 / 69 / 79	47 / 53 / 60
		63 / 75 / 80	59 / 69 / 79	47 / 53 / 60
Schneckendrehmoment	max. Nm	210 / 250 / 290	320 / 380 / 430	480 / 550 / 610
Düsenanlagekraft	max. kN	50	60	60
Düsenabhebeweg	max. mm	210	240	300
Installierte Zylinderheizleistung / Heizzonen	kW	8,8 / 4	5,8 / 4	8,8 / 4
Installierte Düsenheizleistung	kW	0,6	0,6	0,6
Inhalt Granulatbehälter	l	50	50	50
Horizontale Einspritzposition	max. mm	170	170	170
Maße und Gewichte der Basismaschine				
Ölfüllung	l	175	175	175
Nettogewicht	kg	4500	4550	4750
Elektrischer Anschluss (Vorsicherung) ²⁾	A	80 80 80	80 80 80	80 100

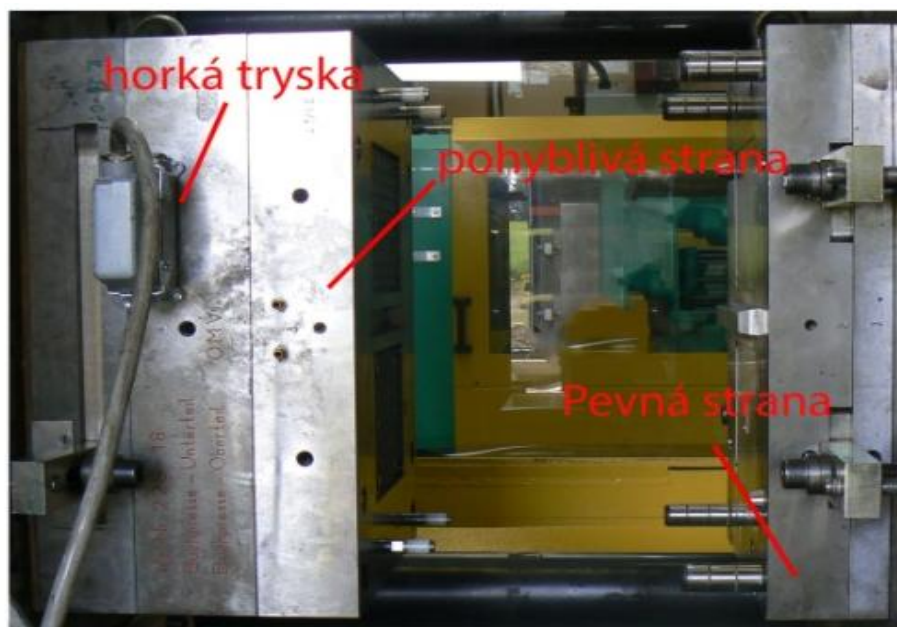
Obr. 23 Parametry vstřikovacího stroje Arburg

3.4 Forma

Pro technologii Mucell byla použita forma pro vylisky z výroby firmy Ravensburger Karton s.r.o. Tato forma pro použití technologie Mucell vyhovuje. Natékání taveniny plastu do vtokové soustavy je řešeno přes horkou trysku. Forma je ukázána na obr. 24, obr. 25.



Obr. 24 Forma



Obr. 25 Forma

3.5 Plastový díl

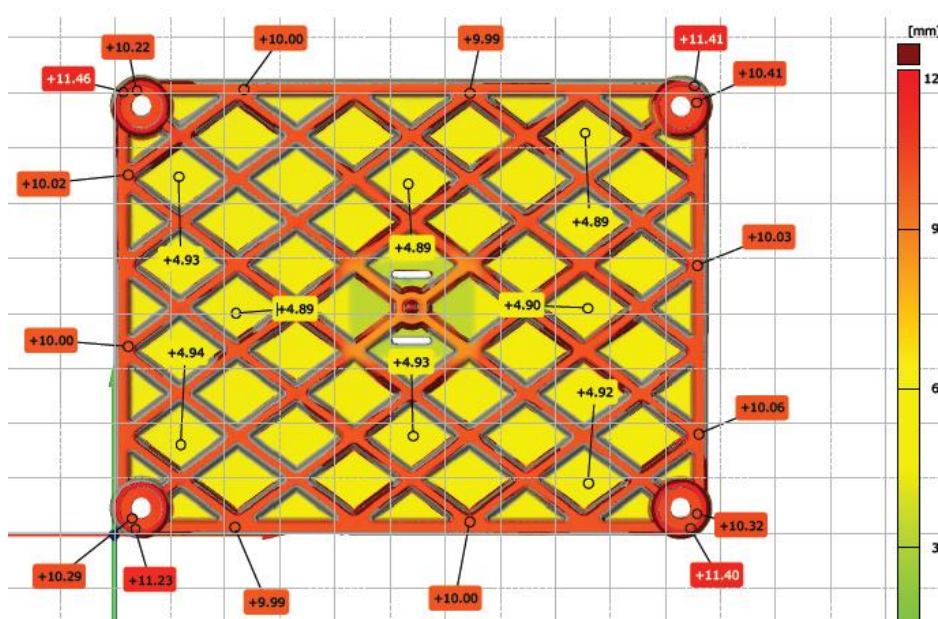
Na obr. 26 je znázorněn plastový díl, který se vyrobil pomocí technologií:

- klasická metoda vstřikování,
- technologie Mucell,
- vstřikování s nadouvadly.

Tento plastový díl se hodí pro strukturní lehčení plastů, jelikož jeho tloušťka stěny dosahuje v nejtlustších místech tloušťky až 10 mm viz obr. 27.



Obr. 26 Výstřik zhotovený technologií Mucell



Obr. 27 Tloušťka stěny vzorku, vzorek byl zhotoven technologií Mucell

3.6 Proces a jeho parametry

V této kapitole budou uvedeny nastavené technologické parametry při vzorkování dílů za použití technologie Mucell. V Posledním bodu této kapitoly obr. 32 je ukázán průběh vstřikovacího tlaku před čelem šneku.

Technologické parametry:

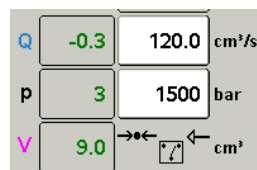
- vstřikovací rychlost,
- teplotní rozložení pásem komory,
- teplota horké trysky,
- dávkování,
- technologické parametry technologie Mucell.

3.6.1 Vstřikovací rychlost

Q - vstřikovací rychlost 120 [cm^3/s]

p - nastavený vstřikovací tlak 1500 [bar]

V - bod přepnutí [cm^3/s]



Obr. 28 Vstřikovací rychlost

3.6.2 Teplotní rozložení pásem komory

1 Pásmo komory (tryska) - 240 [$^{\circ}\text{C}$]

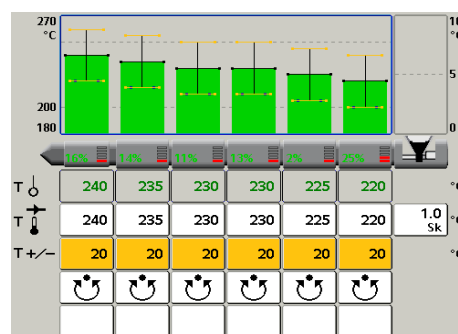
2 Pásmo komory - 235 [$^{\circ}\text{C}$]

3 Pásmo komory - 230 [$^{\circ}\text{C}$]

4 Pásmo komory - 230 [$^{\circ}\text{C}$]

5 Pásmo komory - 225 [$^{\circ}\text{C}$]

6 Pásmo komory (pod násypkou) - 220 [$^{\circ}\text{C}$]



Obr. 29 Teplotní rozložení pásem komory

3.6.3 Teplota horké trysky

Teplota horké trysky vzhledem k použitému materiálu byla nastavena na 245[C°]

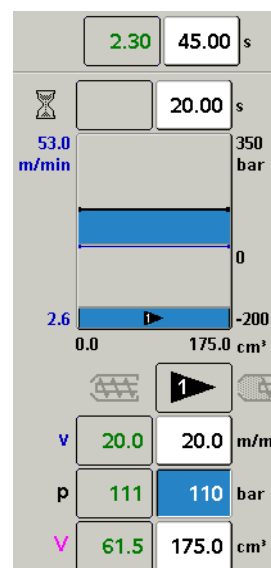
3.6.4 Dávkování

Doba chlazení: 45 [s]

v - obvodová rychlost pohybu šneku 20 [m/min]

p - protitlak 110 [bar]

V - objem dávky 175 - 200 [cm³/s]



Obr. 30 Dávkování

3.6.5 Proces Mucell

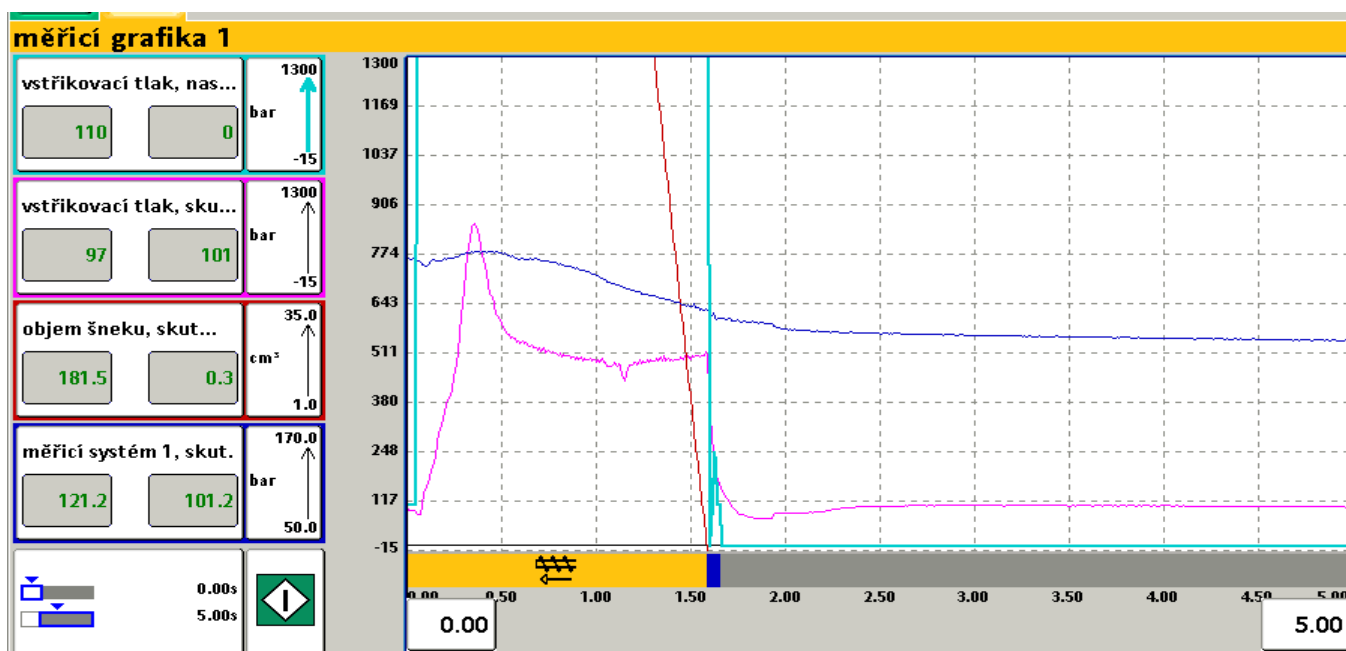
Na obr. 31 je ukázána obrazovka ze vstřikovacího stroje Arburg Allrounder 470 S pro nastavení technologických parametrů technologie Mucell. Nastavovala se a optimalizovala se především doba chodu vstřikování plynu a jeho zpoždění.

proces MuCell		SCF systém	
měřicí systém 1	127 bar	SCF systém	SII + ADPC
zpoždění	22.00 s	adresa SCF systému	1
doba chodu vstřikování plynu	0.00 18.00 s	automatika	zapnuté
podíl průtoku materiálu	1.00 %	ADPC Mode	
hmotnost výstřiku	31.50 g	průtok hmoty, skutečný	0.06 kg/h
průtok hmoty, skutečný	0.06 kg/h	tok materiálu	0.47 0.30 0.47 kg/h
		kontrola poklesu tlaku	ne
		pokles tlaku	9.14 5.00 5.00 bar
		optimalizace provozního tlaku	ruční
kontrola vstřikování plynu	ne	pracovní tlak	120.88 10.00 120.00 bar

Obr. 31 Proces Mucell

3.6.6 Průběh vstřikovacího tlaku před čelem šneku

Vstřikovací tlak zhotovených plastových dílů je ukázán na obr. 32 a lze z něj odečíst hodnotu vstřikovacího tlaku. Na obr. 32 je označen růžovou čarou a jeho hodnota je cca 800/500 bar. Dále jsou v obr. 32 označeny parametry: vstřikovaný tlak nastavený (zelená čára), objem šneku skutečný (červená čára), měřicí systém 1 skutečný (modrá čára). Tyto a jiné parametry, údaje lze na moderních vstřikovacích lisech samovolně nastavit.



Obr. 32 Průběh vnitřního vstřikovacího tlaku

3.7 Výsledky z aplikace technologie Mucell

Technologie Mucell byla aplikovaná pro 6 různých objemů dávky taveniny 175 cm³, 180 cm³, 185 cm³, 190 cm³, 195 cm³ a 200 cm³. K porovnání s technologií Mucell byly zhotoveny vzorky klasickou metodou vstřikování. U všech vzorků bylo následně provedeno vážení jejich hmotnosti. U vzorků s obsahem 180 cm³ a 200 cm³ s klasickou technologií vstřikování bylo provedeno 3D měření a digitalizace na bezdotykovém optickém 3D skeneru. Dále u všech vzorků byla provedena optická mikroskopie k porovnání vnitřní struktury.

3.7.1 Vážení

3.7.1.1 Hmotnost vzorků zhotovených technologií Mucell (dávka 175 ccm až 200 ccm)

Tabulka 1

Dávka 175 ccm	
Počet vzorků	Hmotnost [g]
1.	162,4
2.	160,8
3.	161,6
4.	161,2
5.	160,8
Celkový průměr	161,36
Směrodatná odchylka	0,67

Tabulka 2

Dávka 180 ccm	
Počet vzorků	Hmotnost [g]
1.	165
2.	165
3.	165,8
4.	164,8
5.	165
Celkový průměr	165,12
Směrodatná odchylka	0,39

Tabulka 3

Dávka 185 ccm	
Počet vzorků	Hmotnost [g]
1.	168,4
2.	169,2
3.	170,8
4.	169,6
5.	169,8
Celkový průměr	169,56
Směrodatná odchylka	0,88

Tabulka 4

Dávka 190 ccm	
Počet vzorků	Hmotnost [g]
1.	177,4
2.	174,4
3.	176,2
4.	174,8
5.	
Celkový průměr	175,7
Směrodatná odchylka	1,37

Tabulka 5

Dávka 195 ccm	
Počet vzorků	Hmotnost [g]
1.	179,8
2.	178
3.	179,6
4.	180
5.	179,2
Celkový průměr	179,32
Směrodatná odchylka	0,79

Tabulka 6

Dávka 200 ccm	
Počet vzorků	Hmotnost [g]
1.	184,2
2.	183
3.	185,2
4.	184
5.	184,2
Celkový průměr	184,12
Směrodatná odchylka	0,78

3.7.1.2 Hmotnost vzorků zhotovených klasickou technologií vstřikování (dávka 250 ccm)

Tabulka 7

Klasické vstřikování	
Počet vzorků	Hmotnost [g]
1.	255,4
2.	255,8
3.	255,4
4.	255,8
5.	255,2
Celkový průměr	255,52
Směrodatná odchylka	0,27

3.7.1. 3 Hmotnost vzorků zhot. klasickou metodou s přidavkem 3% nadouvadla Maxithem

Tabulka 8

Maxithem	
Počet vzorků	Hmotnost [g]
1.	258
2.	258,4
3.	258,2
4.	258,3
5.	258,6
Celkový průměr	258,3
Směrodatná odchylka	0,22

3.7.1.4 Hmotnost vzorku zhot. klasickou metodou s přidavkem 3% nadouvadla Hydroceroll ITP 830

Tabulka 9

Hydroceroll ITP 830	
Počet vzorků	Hmotnost [g]
1.	259,6
2.	259,8
3.	259,4
4.	259,4
5.	259,1
Celkový průměr	259,46
Směrodatná odchylka	0,26

3.7.1.5 Hmotností vzorku zhot. klasickou metodou s přidavkem 3% nadouvadla Tracell

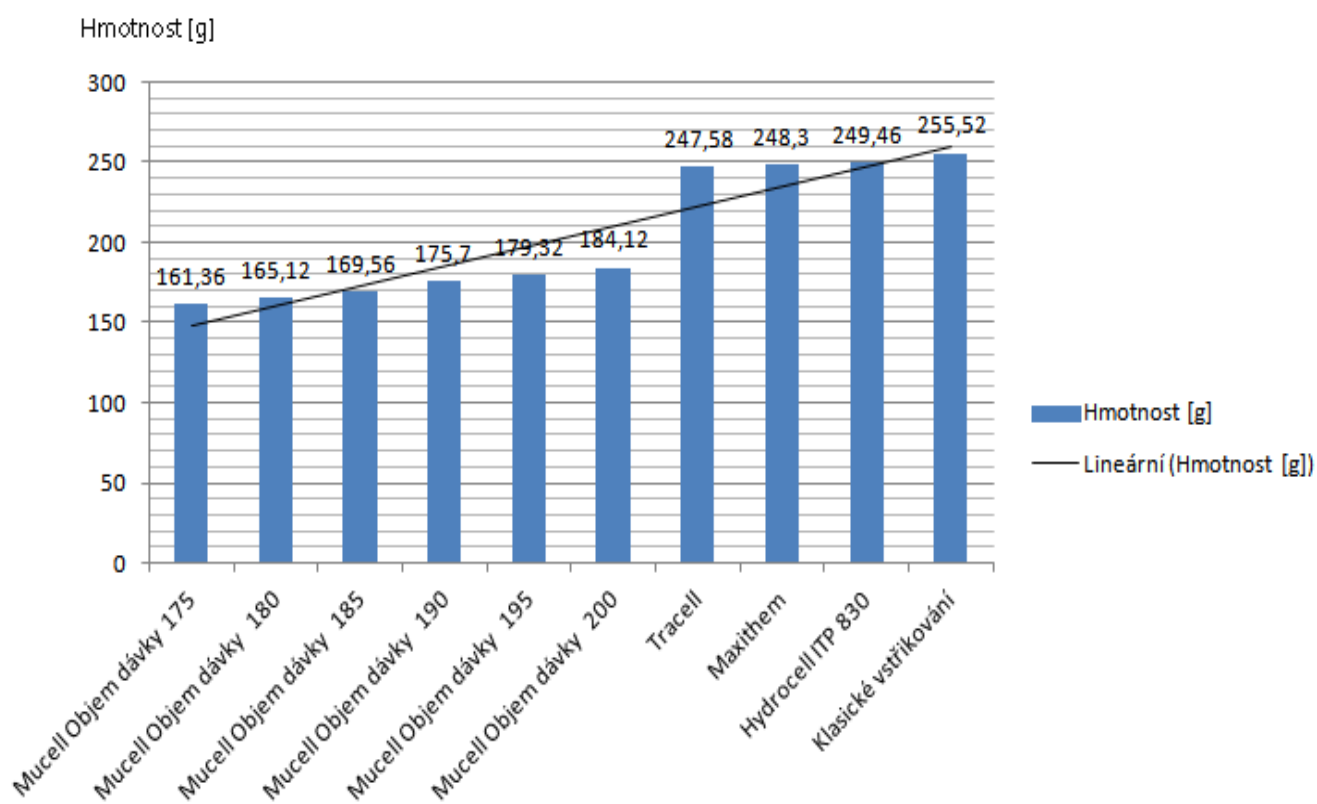
Tabulka 10

Tracell	
Počet vzorků	Hmotnost [g]
1.	257,8
2.	257,4
3.	257,6
4.	257,2
5.	257,9
Celkový průměr	257,58
Směrodatná odchylka	0,29

3.7.1.6 Celkový přehled o navážených hmotnostech jednotlivých vzorků vyrobenými různými technologiemi

Celkový přehled o navážených hmotnostech vyrobenými různými technologiemi. Průměrná hmotnost byla zprůměrována z 5 plastových dílů.

Porovnání navážených hmotností



Obr. 33 Celkový přehled o navážených hmotnostech jednotlivých vzorků vyrobenými různými technologiemi

3.7.2 Optická mikroskopie

Optickým mikroskopem Neophot 21 obr. 34, byla pozorována a zdokumentována struktura. Zdokumentována byla velikost mikrobublin u vzorků zhotovených technologií Mucell a technologií s nadouvadly.



Obr. 34 Optický mikroskop Neophot 21

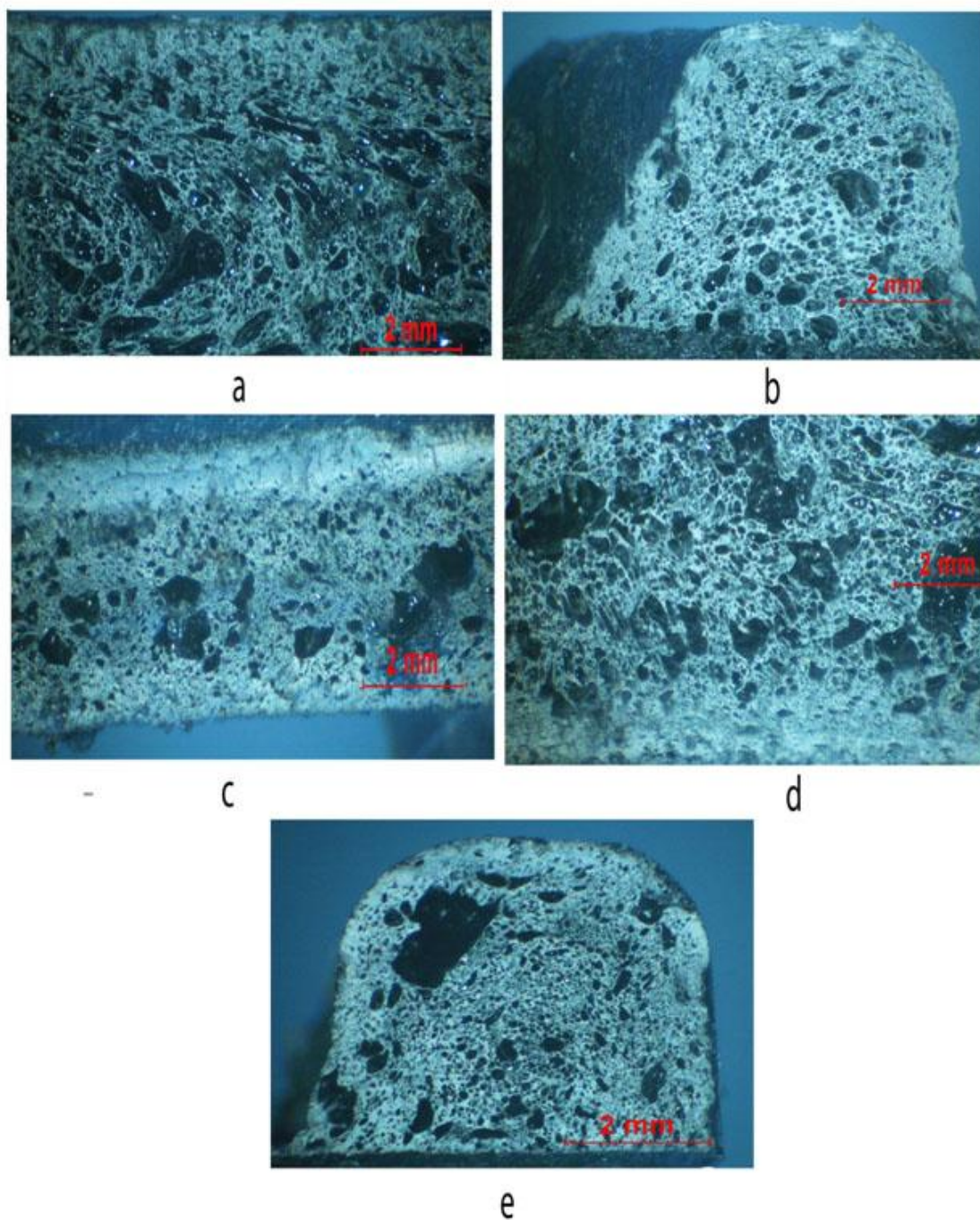
3.7.2.1 Ukázka míst v řezu pořízených fotografií struktury Mucell a nadouvadel

Na obr. 35 jsou ukázány a popsány místa pořízení fotografií struktury Mucell za použití různých objemů dávek 175 ccm až 200 ccm. Dále byly pořízeny fotografie struktury technologie vstřikování za použití nadouvadel Maxithem, Hydroceroll ITP 830 a Tracell. Pořízené fotografie byly odebrány na kraji plastového dílu a byly popsány - kraj tělo vzorku, kraj žebro vzorku a dále na středu plastového dílu byly popsány - střed střed vzorku, střed tělo vzorku a střed žebro vzorku viz obr.35.



Obr. 35 Ukázka míst, kde se snímala struktura

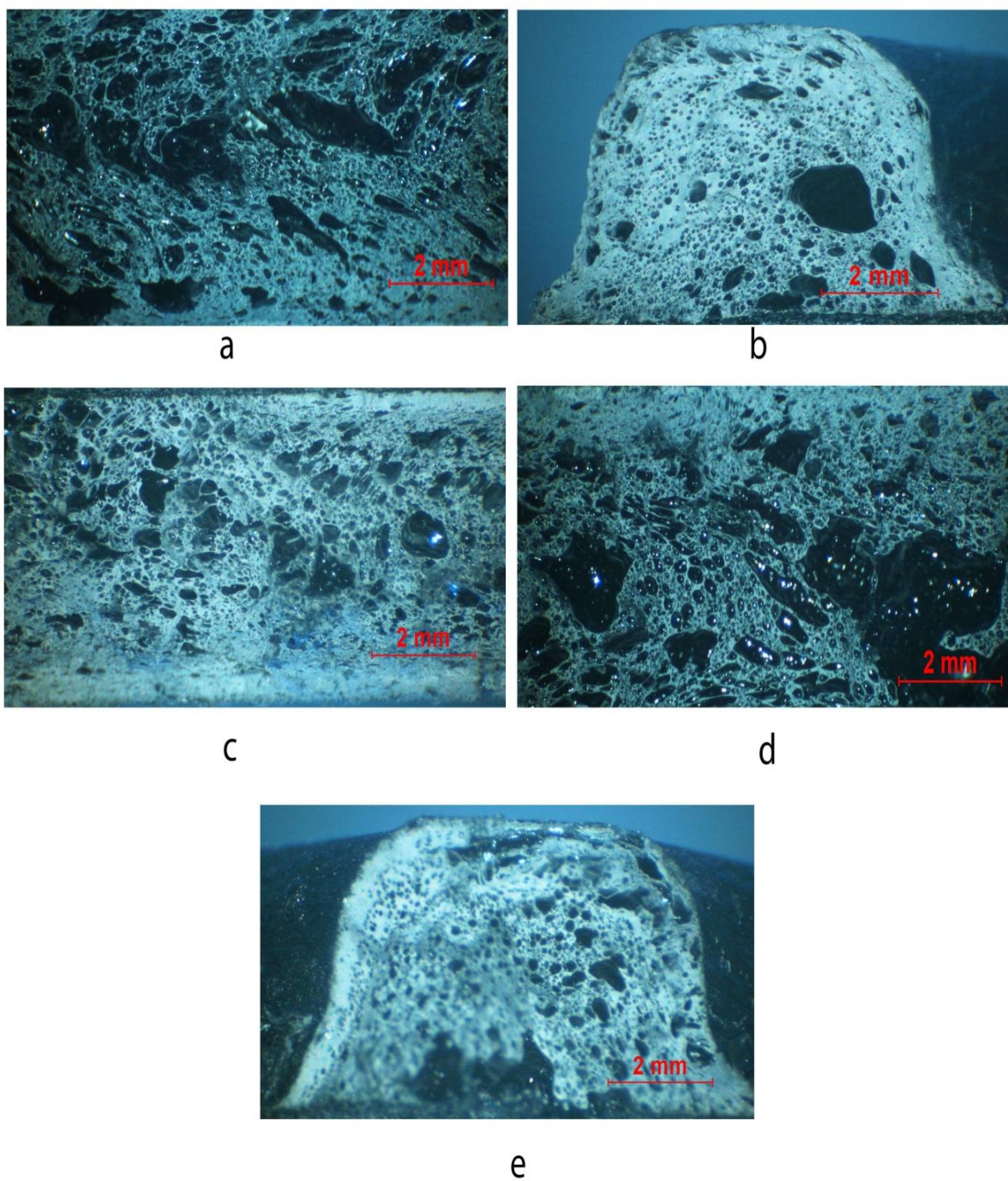
Technologie Mucell objem dávky 175 ccm (viz obr. 36)



Obr. 36 Objem dávky 175 ccm

*a - kraj tělo vzorku, b - kraj žebro vzorku, c - střed střed vzorku, d - střed tělo vzorku,
e - střed žebro vzorku*

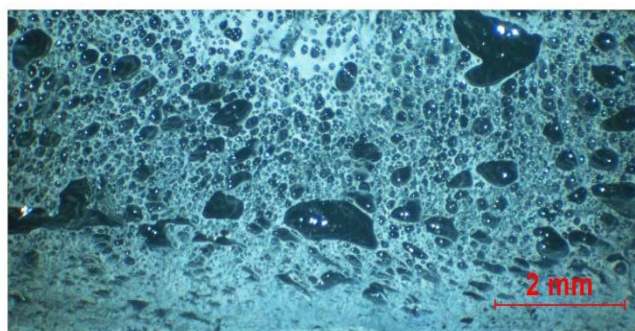
Technologie Mucell objem dávky 180 ccm (viz obr. 37)



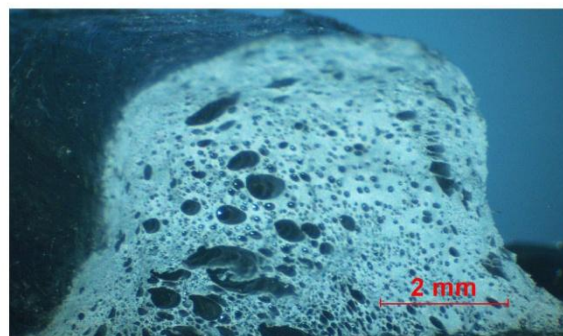
Obr. 37 Objem dávky 180 ccm

*a - kraj tělo vzorku, b - kraj žebro vzorku, c - střed střed vzorku, d - střed tělo vzorku,
e - střed žebro vzorku*

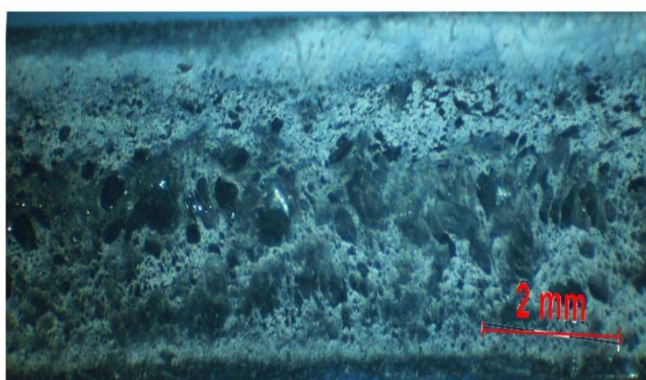
Technologie Mucell objem dávky 185 ccm (viz obr. 38)



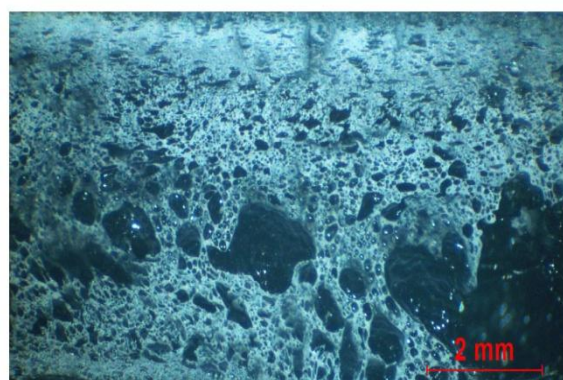
a



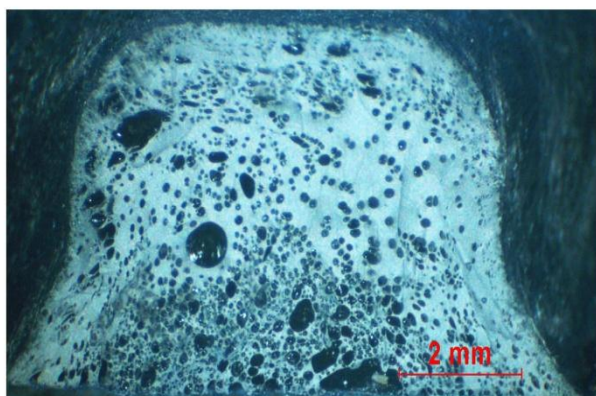
b



c



d

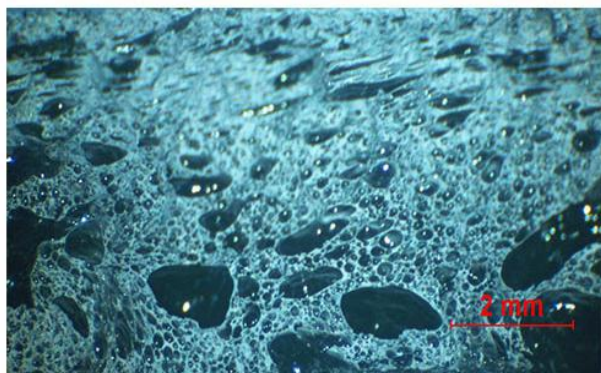


e

Obr. 38 Objem dávky 185 ccm

*a - kraj tělo vzorku, b - kraj žebro vzorku, c - střed střed vzorku, d - střed tělo vzorku,
e - střed žebro vzorku*

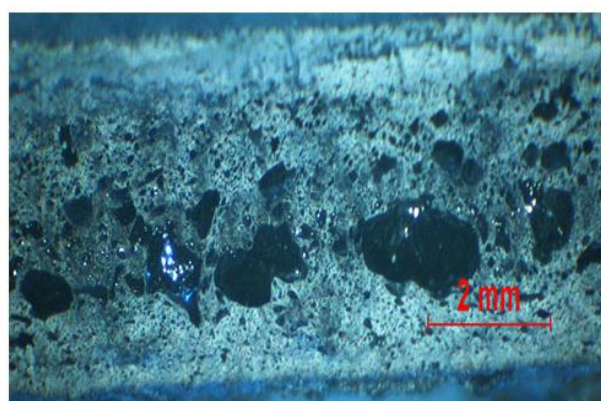
Technologie Mucell objem dávky 190 ccm (viz obr. 39)



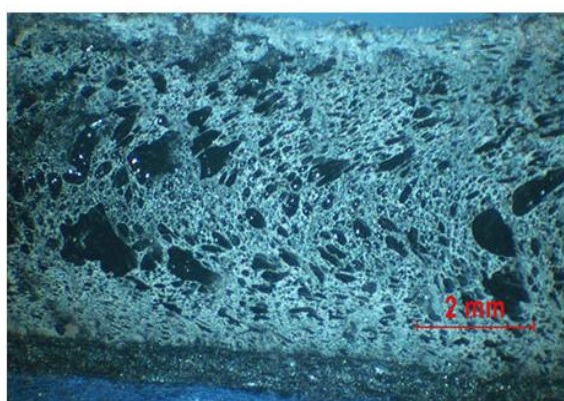
a



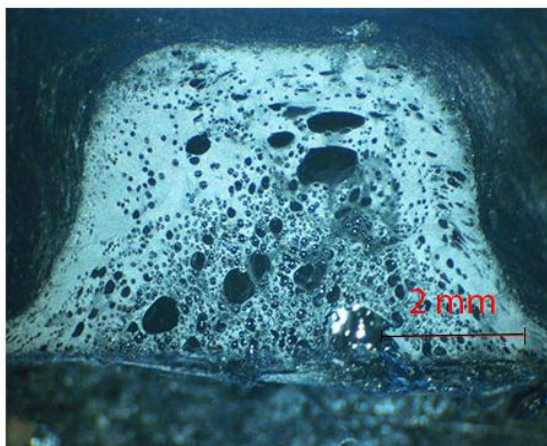
b



c



d

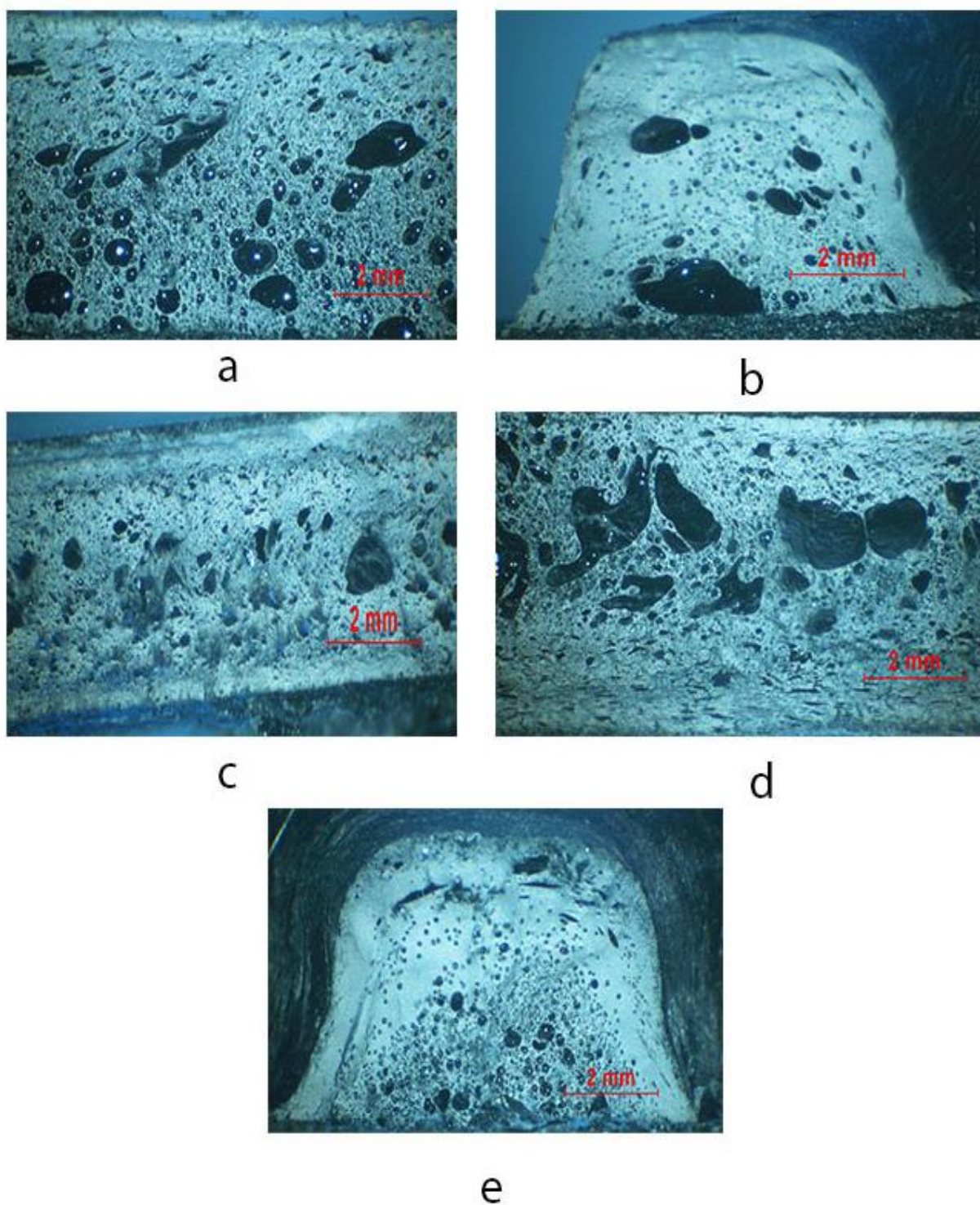


e

Obr. 39 Objem dávky 190 ccm

*a - kraj tělo vzorku, b - kraj žebro vzorku, c - střed střed vzorku, d - střed tělo vzorku,
e - střed žebro vzorku*

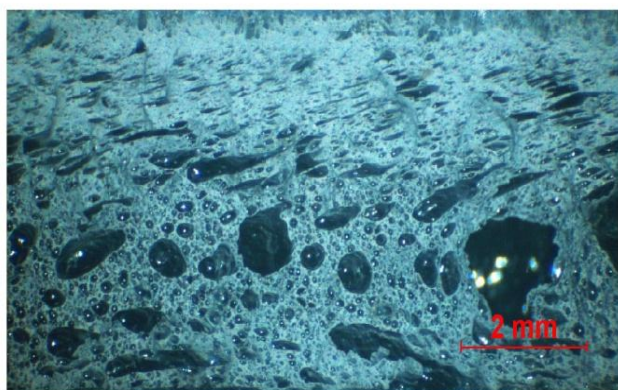
Technologie Mucell objem dávky 195 ccm (viz obr. 40)



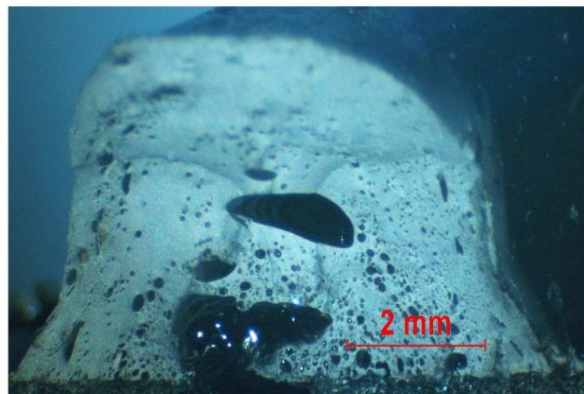
Obr. 40 Objem dávky 195 ccm

*a - kraj tělo vzorku, b - kraj žebro vzorku, c - střed střed vzorku, d - střed tělo vzorku,
e - střed žebro vzorku*

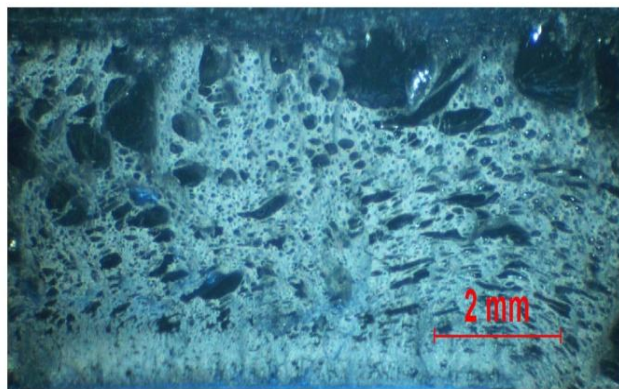
Technologie Mucell objem dávky 200 ccm (viz obr. 41)



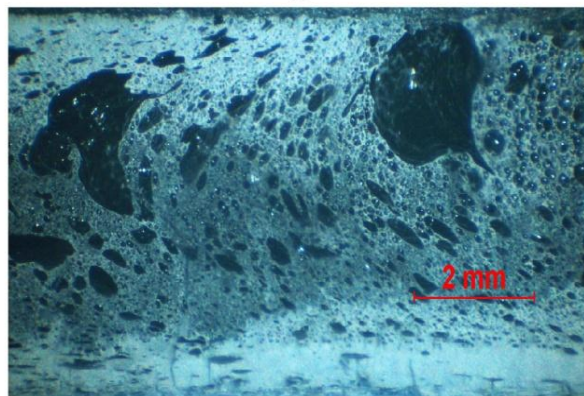
a



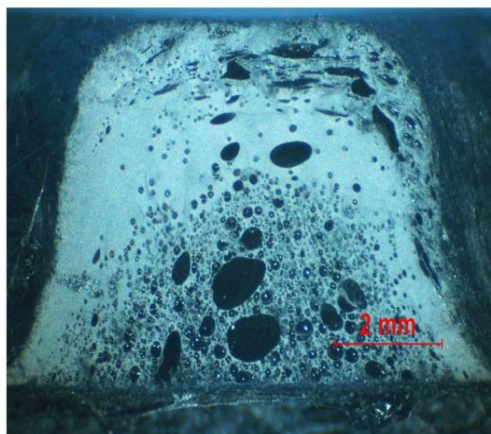
b



c



d

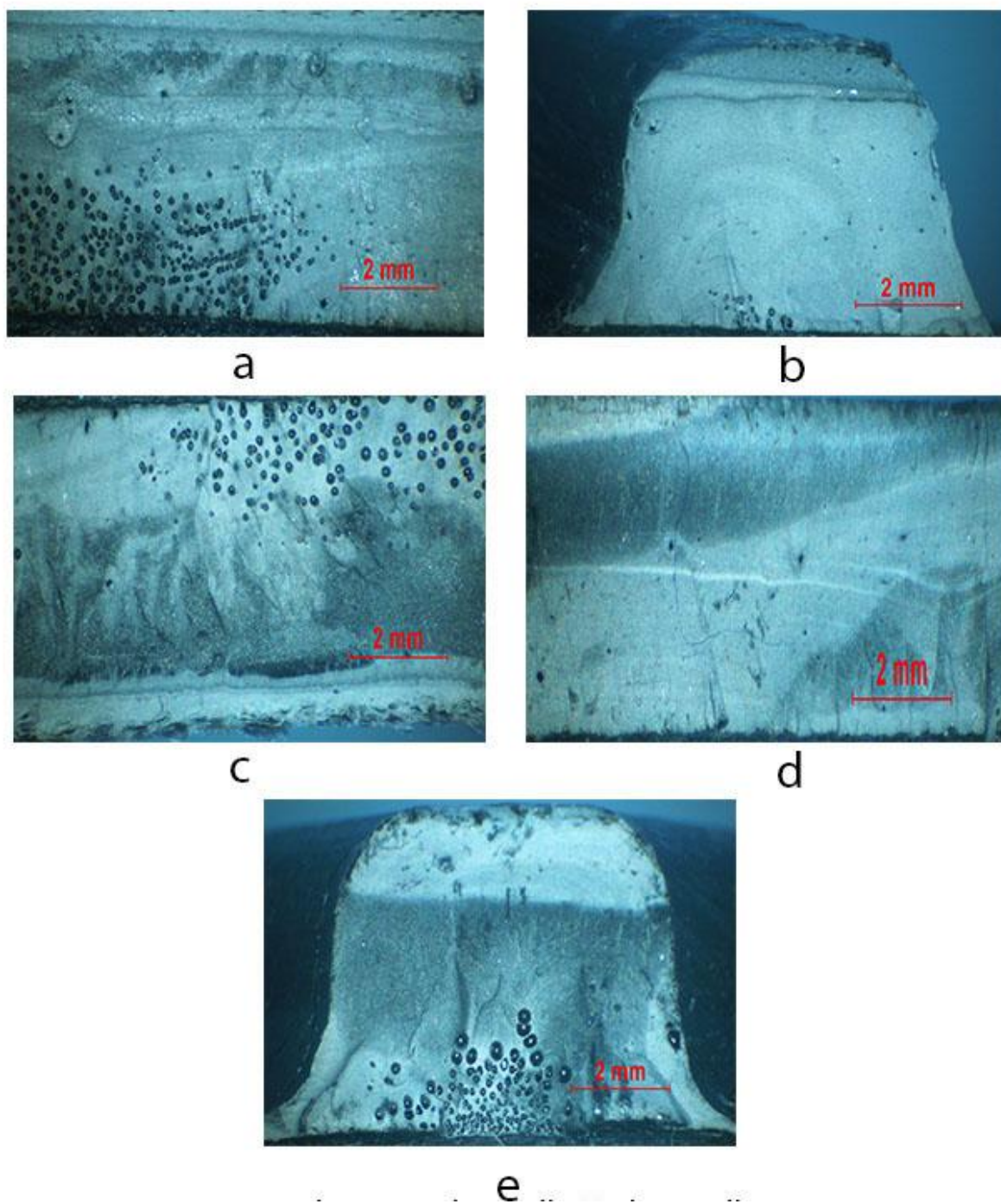


e

Obr. 41 Objem dávky 200 ccm

*a - kraj tělo vzorku, b - kraj žebro vzorku, c - střed střed vzorku, d - střed tělo vzorku,
e - střed žebro vzorku*

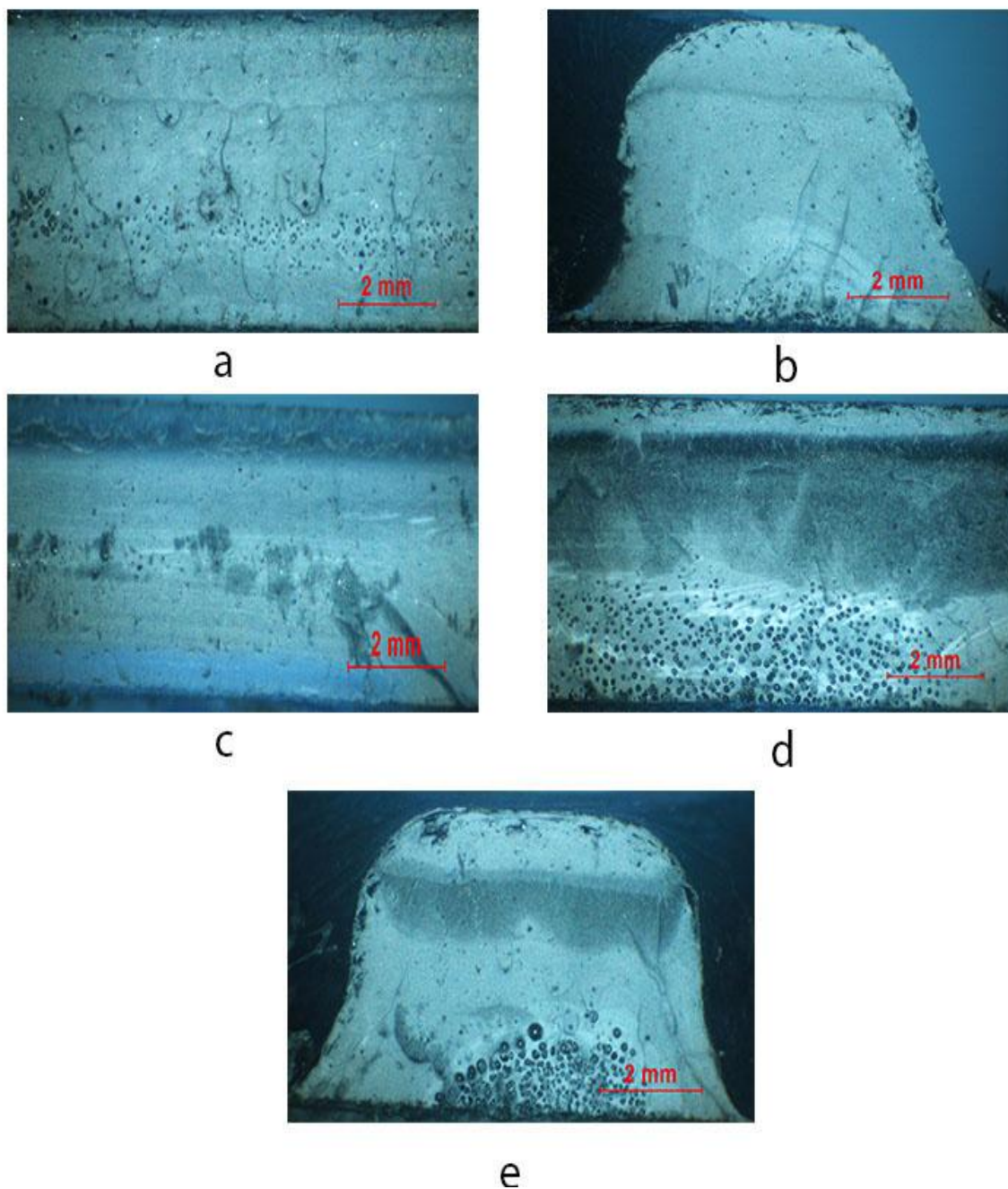
Technologie vstřikování s nadouvadly Hydroceroll 3 % (viz obr. 42)



Obr. 42 Nadouvadlo Hydroceroll

*a - kraj tělo vzorku, b - kraj žebro vzorku, c - střed střed vzorku, d - střed tělo vzorku,
e - střed žebro vzorku*

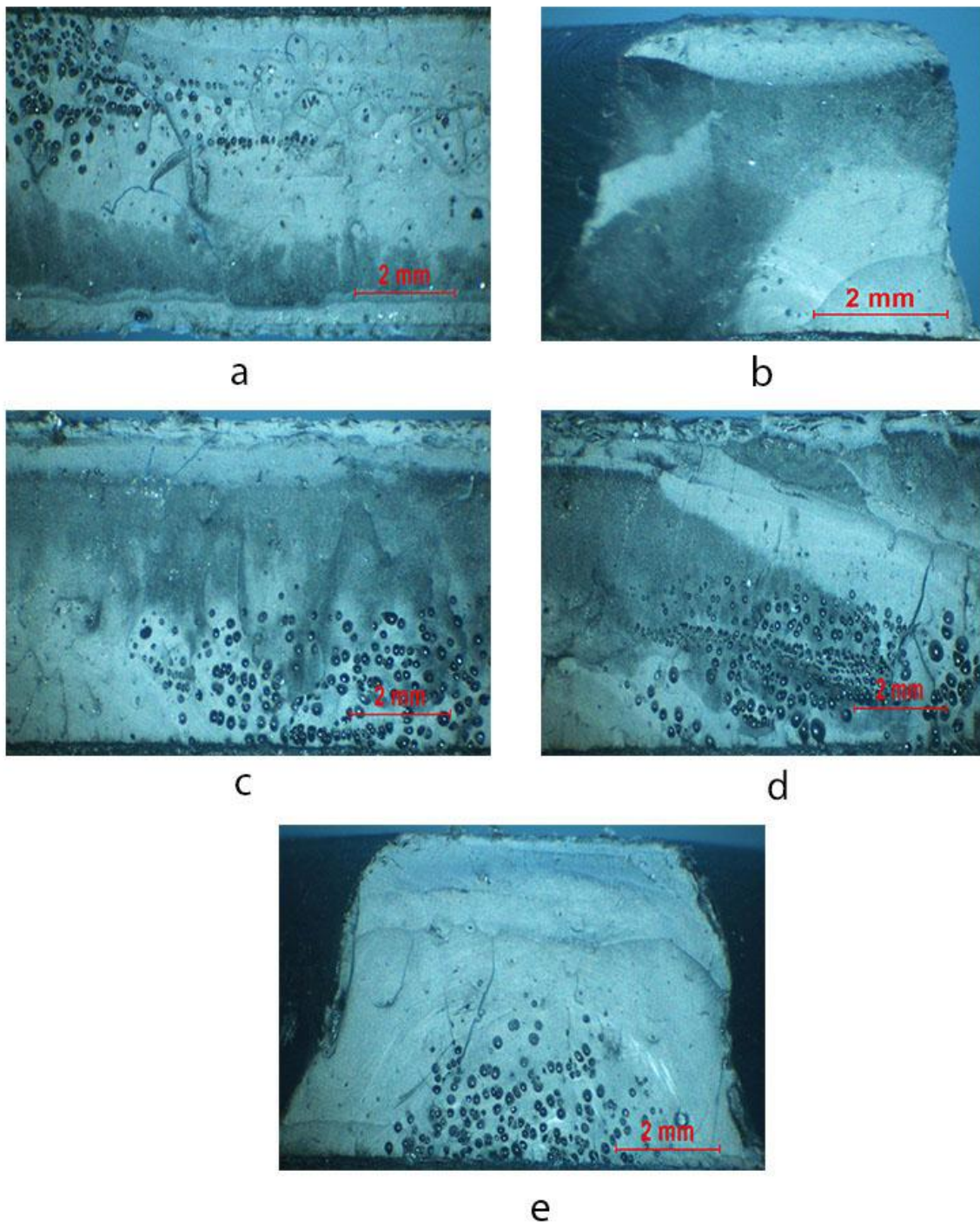
Technologie vstřikování s nadouvadly Maxithem 3% (viz obr. 43)



Obr. 43 Nadouvadlo Maxithem

*a - kraj tělo vzorku, b - kraj žebro vzorku, c - střed střed vzorku, d - střed tělo vzorku,
e - střed žebro vzorku*

Technologie vstřikování s nadouvadly Tracell 3% (viz obr. 44)



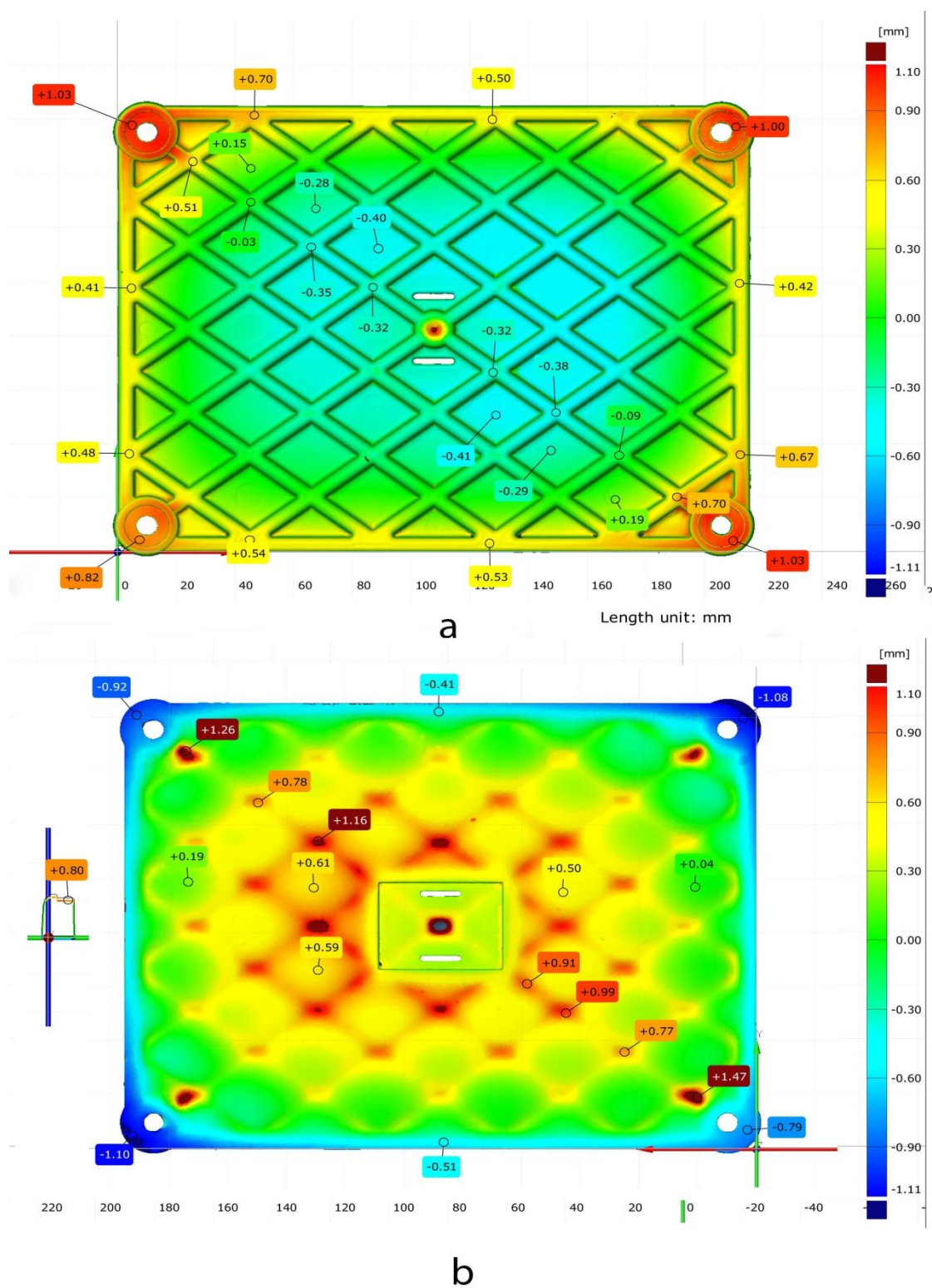
Obr. 44 Nadouvadlo Tracell

*a - kraj tělo vzorku, b - kraj žebro vzorku, c - střed střed vzorku, d - střed tělo vzorku,
- střed žebro vzorku*

3.7.3 Měření 3D

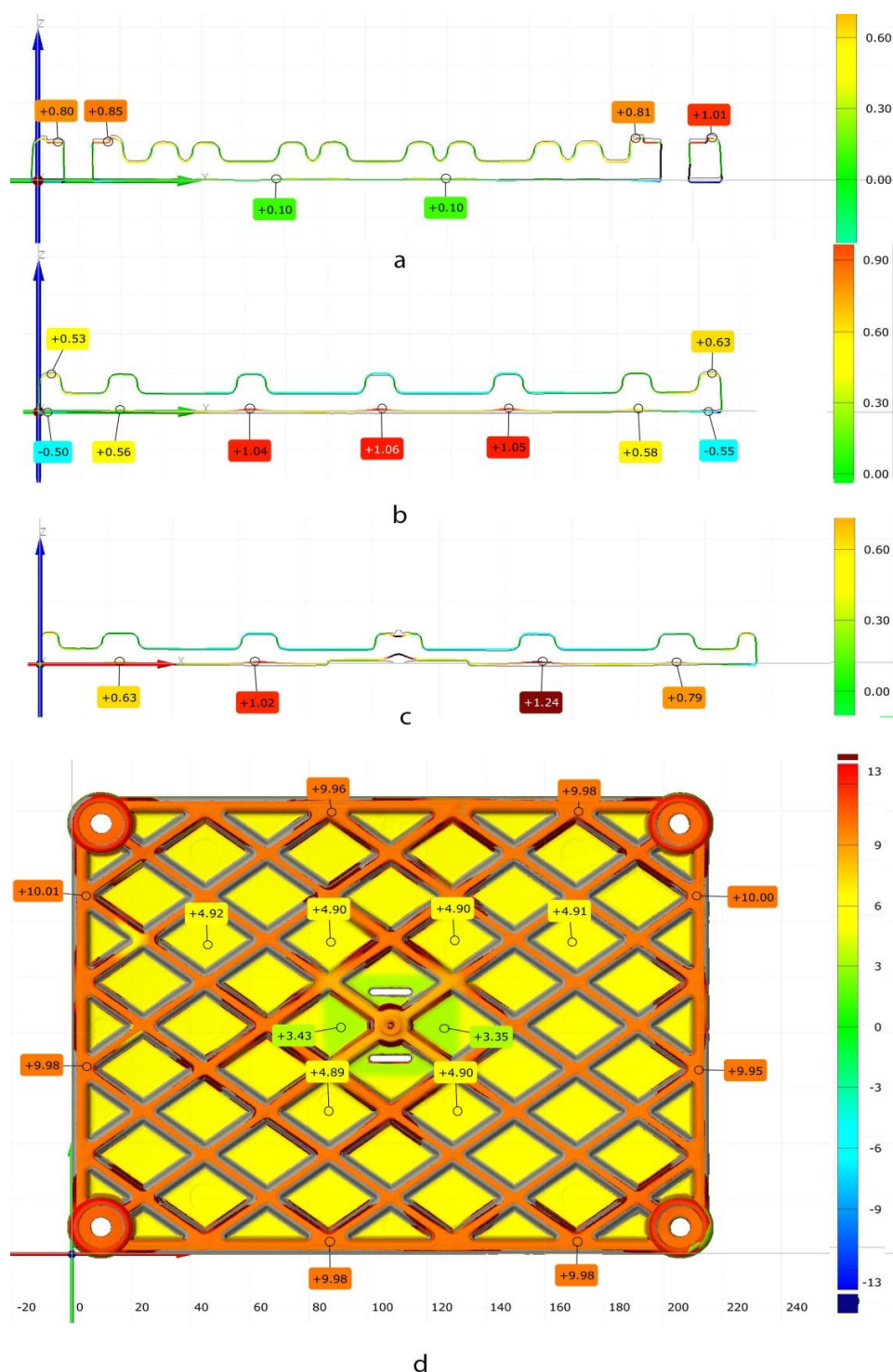
Vzorky byly naskenovány pomocí 3D bezdotykového optického skenru ATOS . Na obrázcích jsou ukázány odchylky dvou naskenovaných plastových dílů zhotovených technologií Mucell a pomocí klasického vstřikování vůči sobě viz obr. 45 a obr. 46 technologie Mucell objem dávky 180 ccm a klasické vstřikování viz obr. 47 a obr. 48 technologie Mucell objem dávky 200 ccm a klasické vstřikování Mucell. Pro přehlednější popis a ukázkou odchylek jsou ukázány odchylky v řezu v osách $x=10$ mm viz obr. 46 a obr. 48 a; viz. $x= 66$ mm obr. 46 b a obr. 48 b; viz $y= 66$ mm viz obr 46 c a obr. 48 c. Dále je ukázána tloušťka stěny u jednotlivých technologií. Mucell objem dávky 180 ccm viz obr. 46 d; Mucell objem dávky 200 ccm viz obr. 48 d a klasická technologie vstřikování viz obr. 49. Všechny vzorky, jak za použití technologie Mucell, tak klasické technologie vstřikování byly vyrobeny za stejných technologických podmínek.

3.7.3.1 Porovnání klasické technologie vstřikování ku technologii Mucell s objemem dávky 180 ccm. Na obr. 45 jsou ukázány odchylky jednotlivých výrobků od sebe.



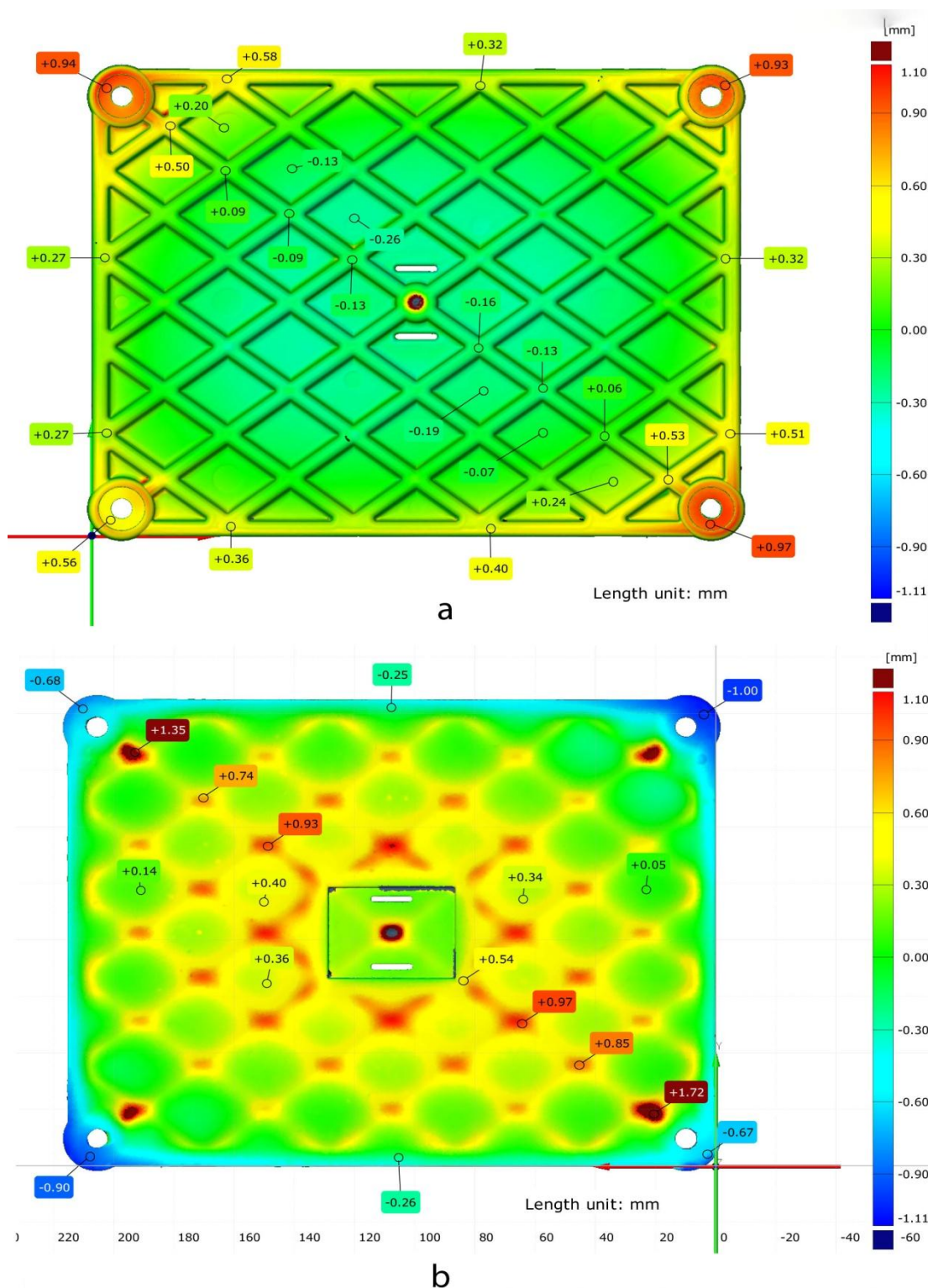
Obr. 45 Porovnání klasické technologie vstřikování ku technologii Mucell s objemem dávky 180 ccm
a - odchylky výrobků, přední strana; b - odchylky výrobků, zadní strana

3.7.3.2 Porovnání klasické technologie vstřikování ku technologii Mucell s objemem dávky 180 ccm. Na obr. 46 jsou ukázány odchylky tvaru jednotlivých výrobků od sebe a tloušťka stěny vyrobeného technologií Mucell objem dávky 180 ccm.



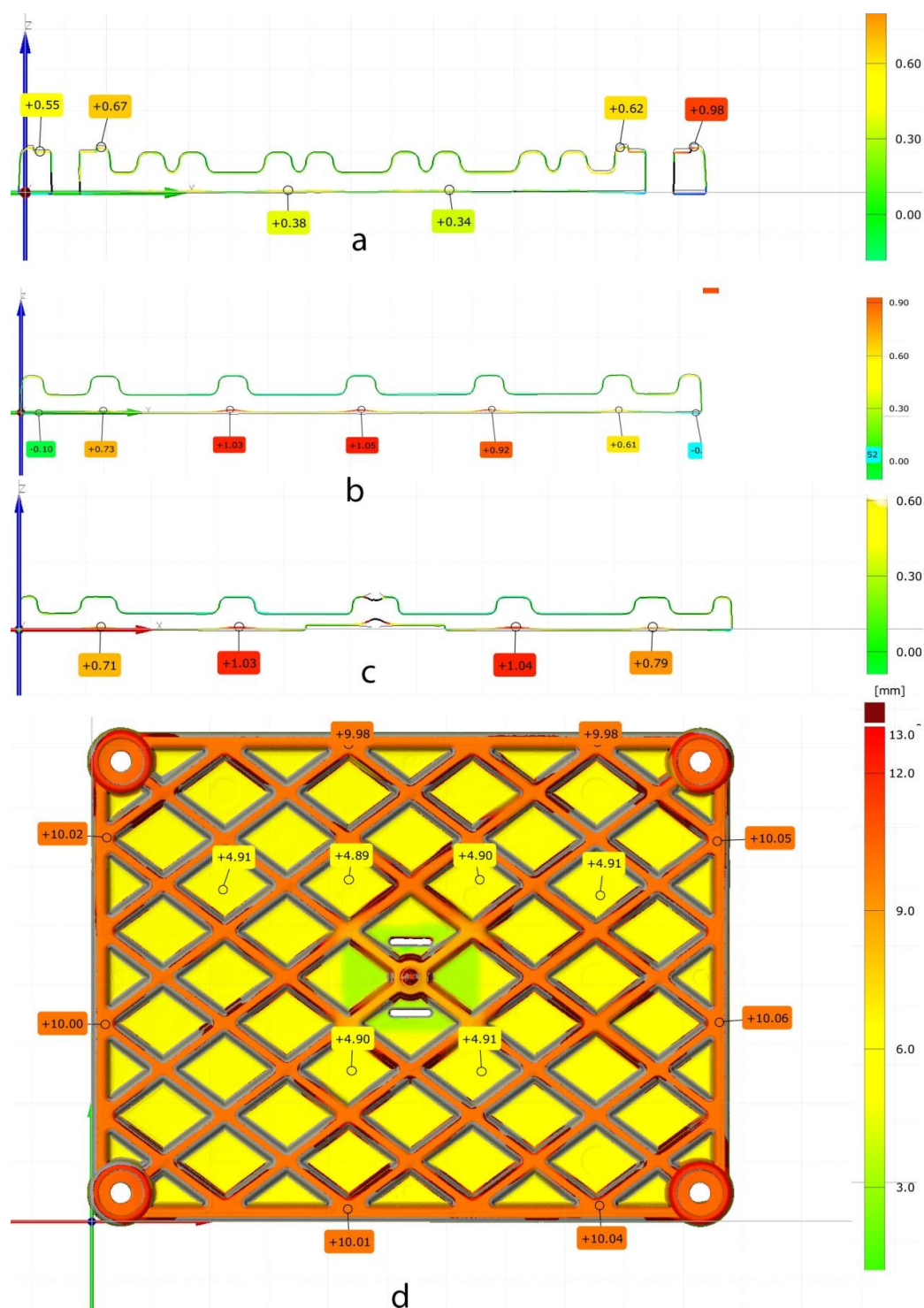
Obr. 46 porovnání klasické technologie vstřikování ku technologii Mucell s objemem dávky 180 ccm; a - řez výrobku v ose $x = 10 \text{ mm}$; b - řez výrobku v ose $x = 66 \text{ mm}$; c - řez výrobku v ose $y = 82 \text{ mm}$; d - tloušťka stěny

3.7.3.3 Porovnání klasické technologie vstřikování ku technologii Mucell s objemem dávky 200 ccm. Na obr. 47 jsou ukázány odchylky jednotlivých výrobků od sebe.



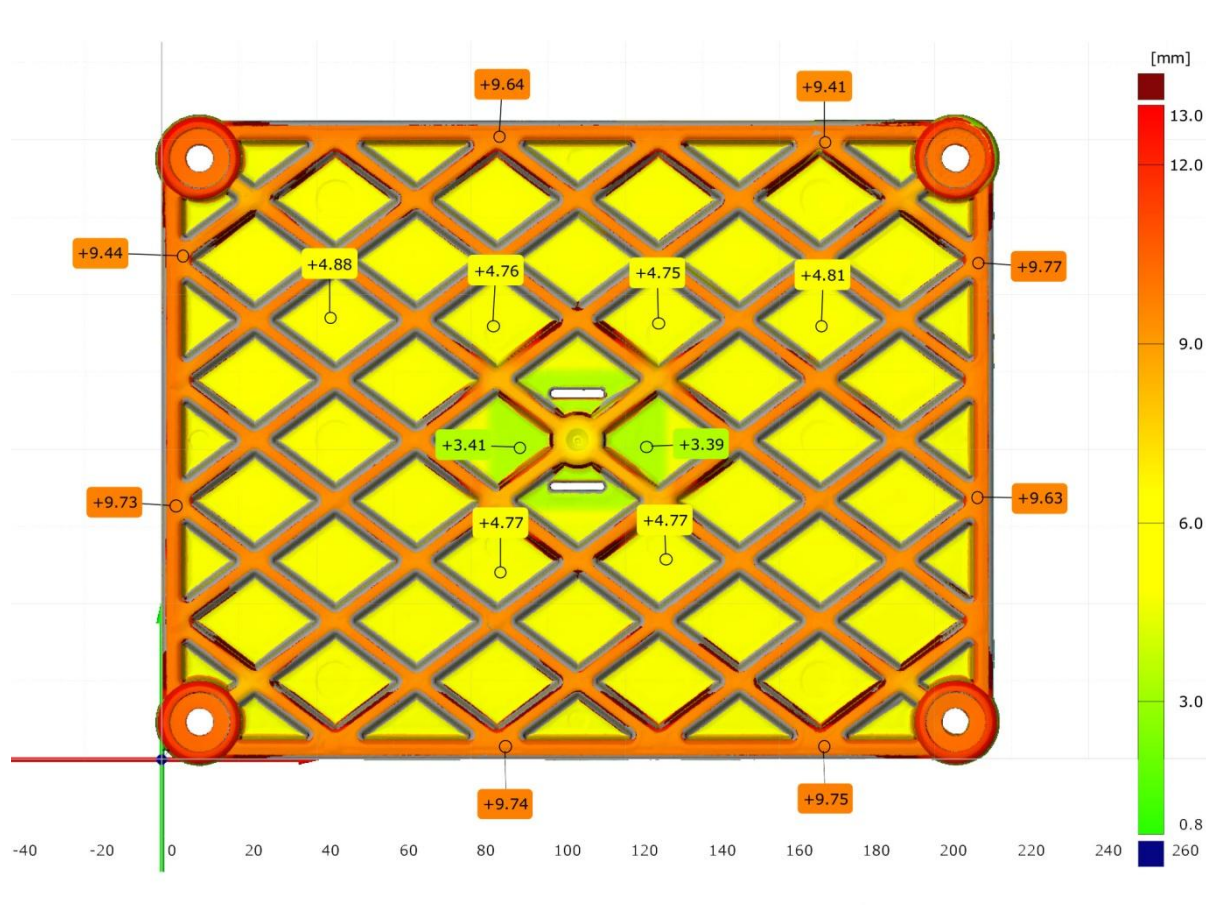
Obr. 47 Porovnání klasické technologie vstřikování ku technologii Mucell s objemem dávky 200 ccm
a - odchylky výrobků, přední strana; b - odchylky výrobků, zadní strana

3.7.3.4 Porovnání klasické technologie vstřikování ku technologii Mucell s objemem dávky 200 ccm. Na obr. 48 jsou ukázány odchylky tvaru jednotlivých výrobků od sebe a tloušťka stěny vyrobeného technologií Mucell objem dávky 200 ccm.



Obr. 48 Porovnání klasické technologie vstřikování ku technologii Mucell s objemem dávky 200 ccm; a - řez výrobku v ose $x = 10 \text{ mm}$; b - řez výrobku v ose $x = 66 \text{ mm}$; c - řez výrobku v ose $y = 82 \text{ mm}$; d - tloušťka stěny

3.7.3.5 Tloušťka stěny - klasická technologie vstřikování



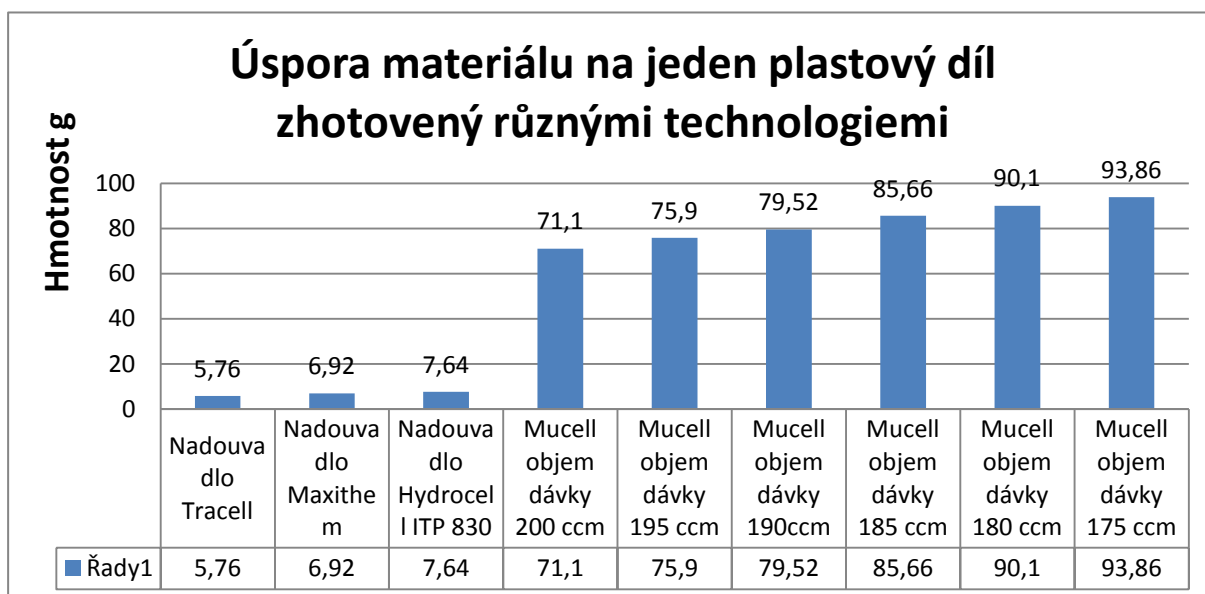
Obr. 49 Tloušťka stěny výrobku zhotoveného klasickou technologií vstřikování

4. Ekonomické hodnocení

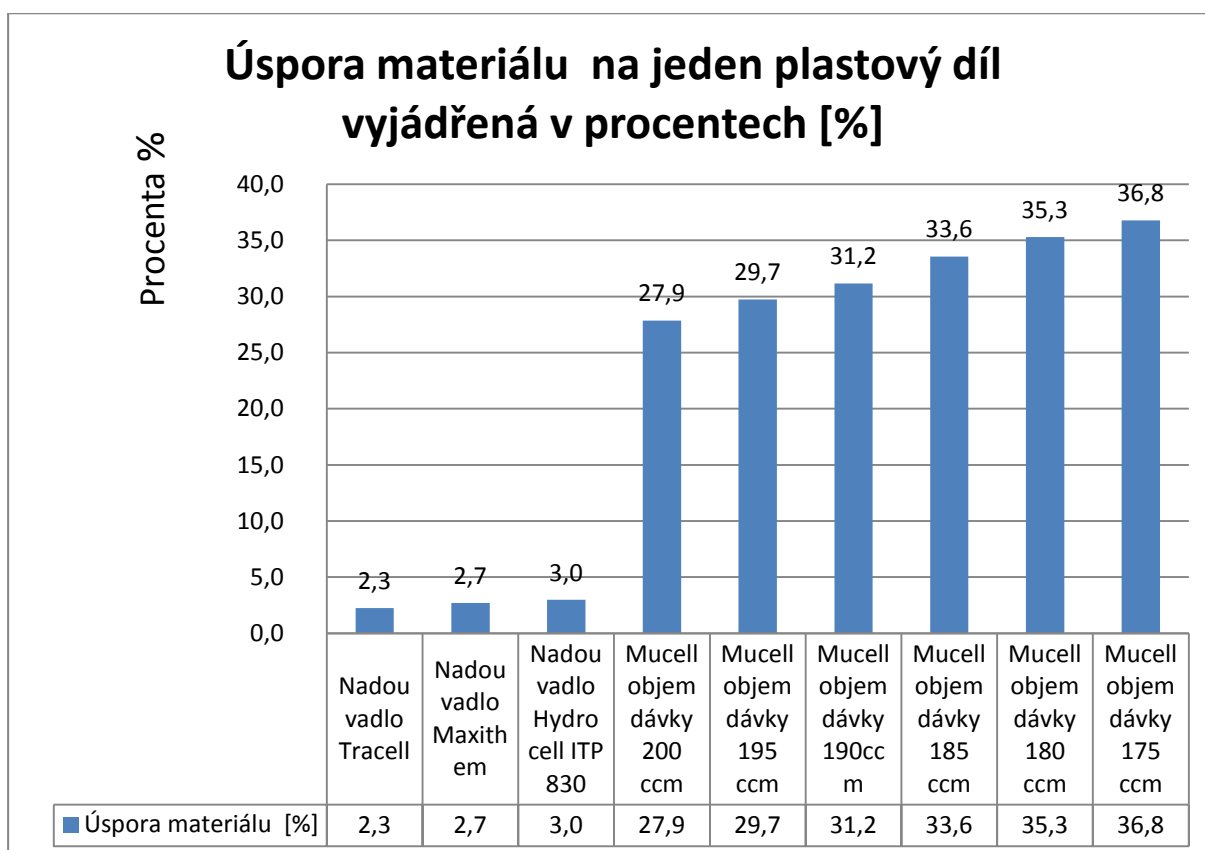
Tato kapitola bude zaměřena na porovnání ekonomické úspory financí při použití různých technologií výroby pro výrobu plastového dílu obr. 26. Průměrná hmotnost jednoho plastového dílu vyrobeného klasickou technologií výroby je 255,22 g viz tabulka 11. V tabulce je uvedena úspora materiálu u jednotlivých technologií porovnaných ke klasické technologii výroby plastového dílu v gramech a v procentech. Poslední sloupec v tabulce je úspora financí vyjádřená v korunách, kdy je bráno v úvahu, že 1 kg PS Krasten 336M stojí 43,10 Kč.

Tabulka 11 - Přehled úspory materiálu a financí

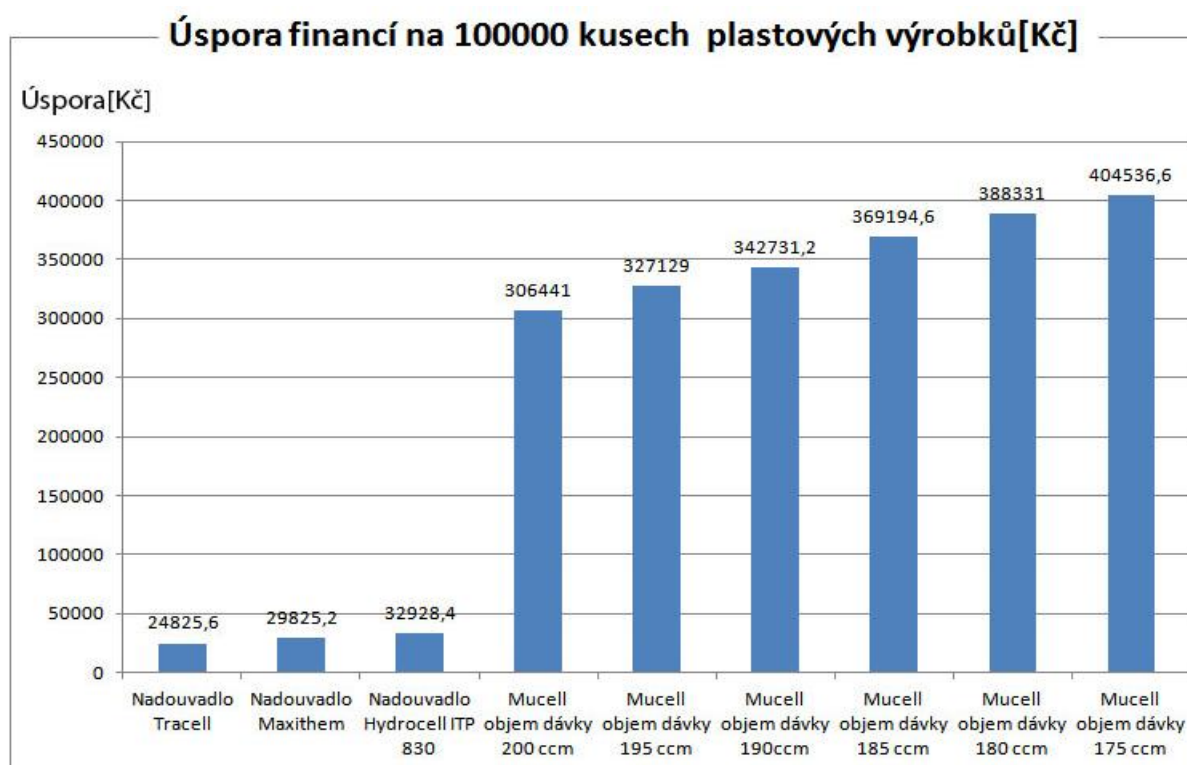
Název technologie [ccm]	Průměrná hmotnost [g]	Úspora materiálu [%]	Úspora materiálu [g]	Úspora financí [Kč]
Klasická technologie vstřikování	255,22	0,0	0	0
Nadouvadlo Tracell	249,46	2,3	5,76	0,248256
Nadouvadlo Maxithem	248,3	2,7	6,92	0,298252
Nadouvadlo Hydrocell ITP 830	247,58	3,0	7,64	0,329284
Mucell objem dávky 200 ccm	184,12	27,9	71,1	3,06441
Mucell objem dávky 195 ccm	179,32	29,7	75,9	3,27129
Mucell objem dávky 190ccm	175,7	31,2	79,52	3,427312
Mucell objem dávky 185 ccm	169,56	33,6	85,66	3,691946
Mucell objem dávky 180 ccm	165,12	35,3	90,1	3,88331
Mucell objem dávky 175 ccm	161,36	36,8	93,86	4,045366



Obr. 50 Úspora materiálu na jeden plastový výrobek vyrobený různými technologiemi



Obr. 51 Úspora materiálu v procentech na jeden plastový výrobek vyrobený různými technologiemi



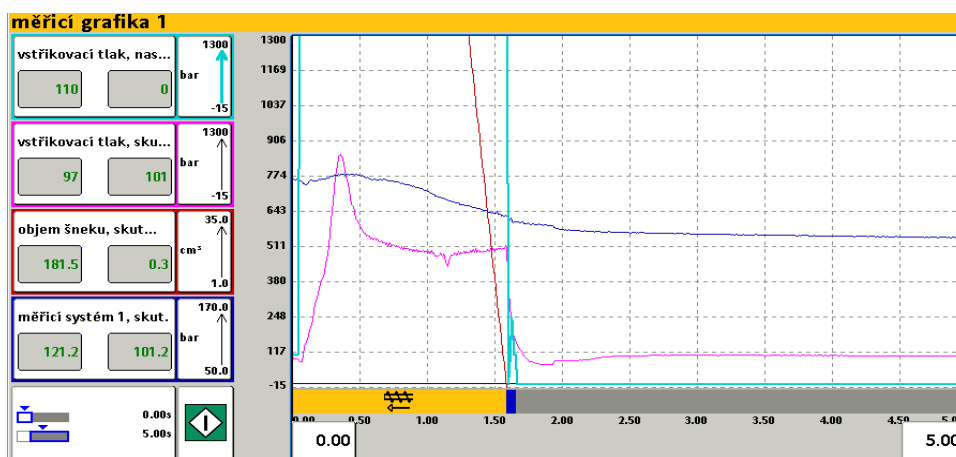
Obr. 52. Finanční úspora financí v korunách na jeden plastový výrobek vyrobený různými technologiemi. Do úspory není započítána cena nadouvadla popřípadě cena plynu u technologie Mucell.

5. Diskuze a vyhodnocení

V diskuzi budou porovnávány výsledky plastových dílů zhotoveny technologiemi Mucell, klasické vstřikování, vstřikování s nadouvadly. Plastové díly byly vyrobeny za stejných technologických podmínek. Jedná se o vstřikovací rychlost, teplotu komory, teplotu formy, dávkování. Při nastavení stejných technologických parametrů pro výrobu plastových dílů technologií Mucell a klasickou technologií vstřikování jsme dostali následující data viz obr. 53 a obr. 54.

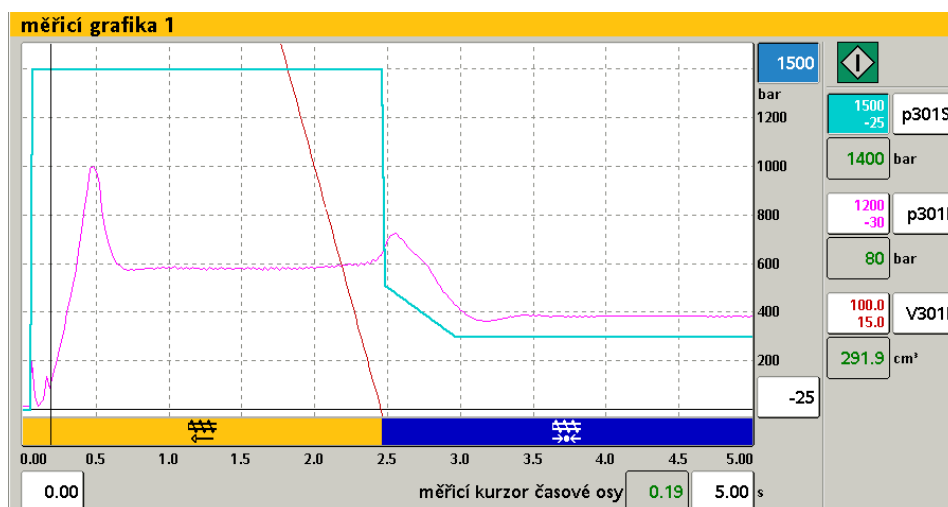
Srovnání vstřikovacích tlaků u klasické metody v porovnání s technologií Mucell

Vstřikovací tlak pro plastový díl vyrobený technologií Mucell



Obr. 53 Vstřikovací tlak Mucell

Vstřikovací tlak pro plastový díl vyrobený klasickou technologií

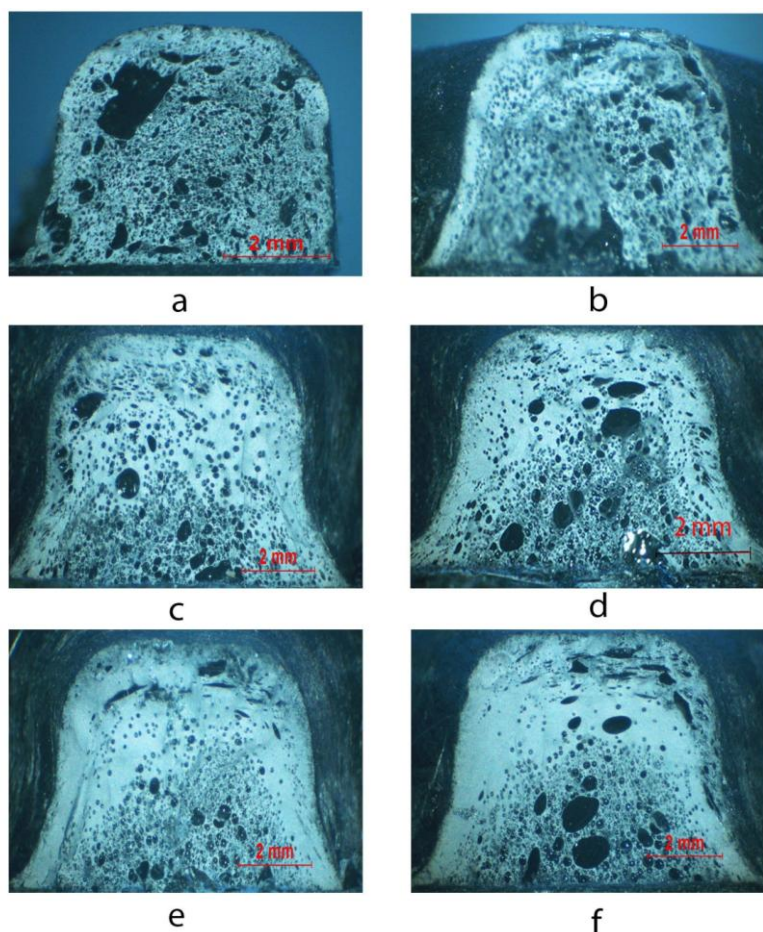


Obr. 54 Vstřikovací tlak klasické vstřikování

Jak je patrné z obr. 53 byl vstřikovací tlak u klasické technologie vstřikování pro zhotovení plastového dílu cca 1000/800 bar. Na obr. 54 byl vstřikovací tlak u použité technologii Mucell 800/500 bar. Jak vyplývá z obr. 53 a obr. 54 je vstřikovací tlak u technologie Mucell menší cca o 20 %. Dále z obr. 53 a obr. 54 vyplývá, že u technologie Mucell není žádná fáze dotlaku ve vstřikovacím cyklu. Fázi dotlaku nám u technologie Mucell kompenzují mikrobublínky plynu, které nám dotlačují plastový díl zevnitř a tím kompenzují případné deformace plastového dílu.

Srovnání velikosti mikrobublin technologie Mucell v závislosti na objemu dávky 175 ccm až 200 ccm

Fotografie jsou pořízeny ve stejném místě plastového dílu u objemů dávky 175 ccm až 200 ccm a to popis střed - žebro vzorku viz obr. 36 až obr. 41. Z obr. 55 vyplývá, že s větším množstvím dávky se snižuje velikost mikrobublin.

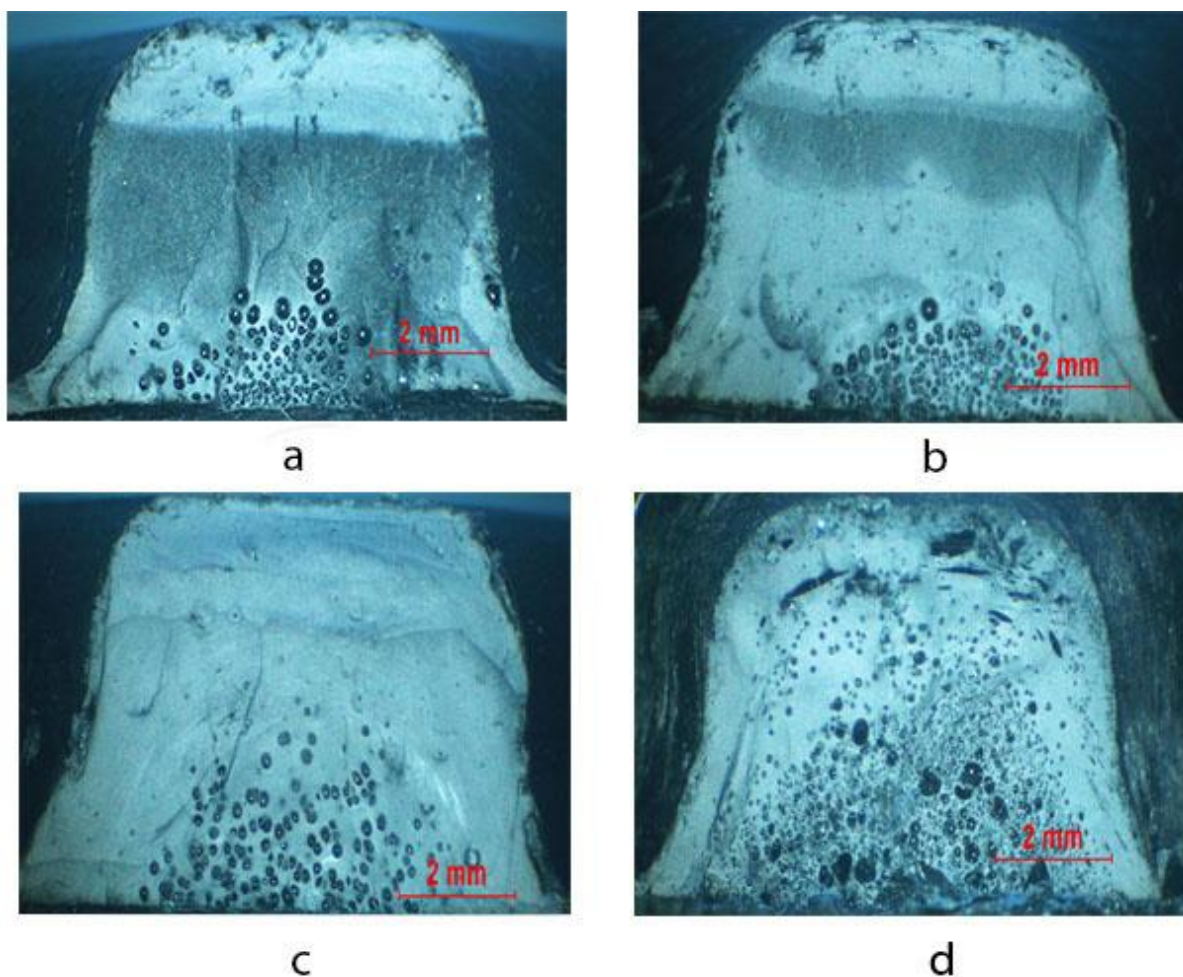


Obr. 55 Porovnání struktury technologie Mucell

*a - objem dávky 175 ccm; b - objem dávky 180 ccm; c - objem dávky 185 ccm
d - objem dávky 190 ccm; e - objem dávky 195 ccm; f - objem dávky 200 ccm*

Srovnání velikosti mikrobublin technologie vstřikování s nadouvadly v závislosti ku porovnání k technologii Mucell objemu dávky 195 ccm

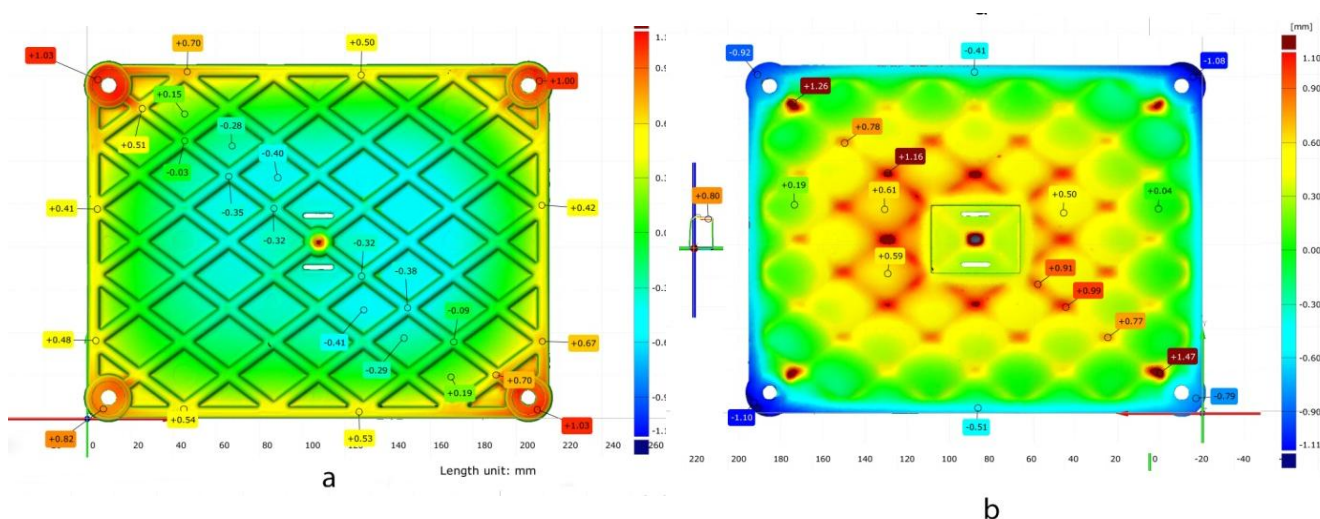
Na obr. 56 je ukázána technologie vstřikování s nadouvadly (Maxithem, Hydroceroll ITP 830, Tracell) s porovnáním k technologii Mucell objemu dávky 195 ccm. Fotografie jsou pořízeny ve stejném místě plastového dílu a to popis střed - žebro vzorku. Na obr. 56 je patrné rovnoměrnější rozložení mikrobublin u technologie Mucell objem dávky 195 ccm ve srovnání s klasickou technologií vstřikování s nadouvadly. U technologie s nadouvadly jsou mikrobubliny patrné pouze ve spodní části žebra.



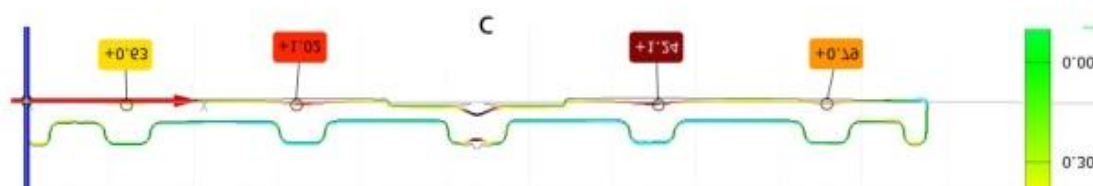
Obr. 56 Porovnání technologie Mucell s klasickou technologií vstřikování
a - nadouvadlo Hydroceroll ITP 830; b - nadouvadlo Maxithem; c - nadouvadlo Tracell;
d - Mucell objem dávky 195 ccm

Porovnání tvaru plastového výrobku zhotoveného technologií Mucell 180 ccm ku klasické technologii vstřikování

Na obr. 45 jsou vidět odchylky jednoho tvaru plastového dílu zhotoveného klasickou technologií vstřikování ku druhému plastovému dílu zhotoveného technologií Mucell s objemem dávky 180 ccm. Největší odchylky ve tvaru jsou patrné na obr. 45 b. Tyto odchylky jsou od propadlin pod žebry u plastového výrobku zhotoveného klasickou metodou vstřikování. Dále jsou to odchylky v rozích plastového dílu. Velikost odchylek se směrem k okraji plastového dílu zvětšuje. Tyto odchylky nejspíše vznikly při krátké době chlazení, kdy ještě teplý kus vypadl z formy lisu a v rozích desky se začal materiál vlivem vysoké teploty deformovat. Možnosti jak tyto propadliny odstranit či je zmenšit na minimum mohou být: 1) snížit teplotu na komoře šneku, 2) prodloužit dobu dotlaku či jej zvětšit, 3) přidat více objemu dávky, 4) prodloužit dobu chlazení.

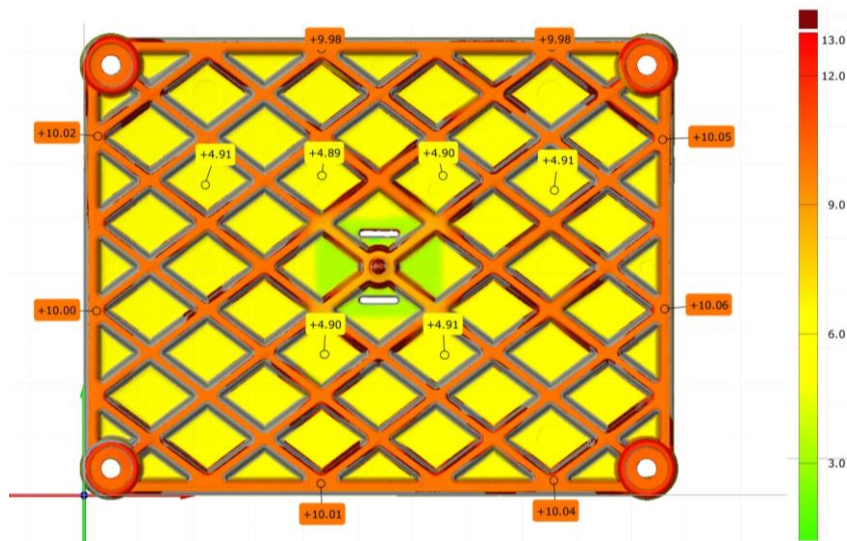


*Obr. 45 Porovnání klasické technologie vstřikování ku technologii Mucell
s objemem dávky 180 ccm
a - odchylky výrobků; přední strana b - odchylky výrobků, zadní strana*

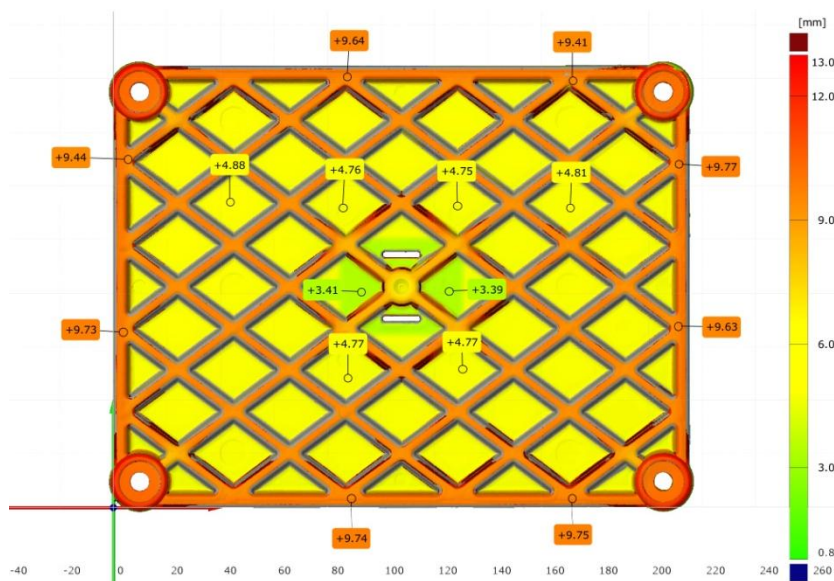


Obr. 46 c - řez osou $y = 82 \text{ mm}$

Porovnání tloušťky stěny u plastové dílu vyrobeného klasickou technologií k porovnání plastového dílu vyrobeného technologií Mucell s objemem dávky 200 ccm



Obr. 57 Tloušťka stěny výrobku zhotoveného technologií Mucell objem dávky 200 ccm.



Obr. 49 Tloušťka stěny výrobku zhotoveného klasickou technologií vstřikování

Tloušťka stěny u plastového dílu zhotoveného technologií Mucell je v rozmezí o 0,35 až 0,15 mm větší než u plastového dílu zhotoveného klasickou metodou vstřikování. Největší rozdíly v odchylkách jsou na kraji plastového dílu. Směrem ke středu plastového dílu se odchylky zmenšují (viz obr. 57 a obr. 49).

6. Závěr

Vzorky zhotovené technologií Mucell s objemem dávky 175 ccm až 200 ccm, dále vzorky zhotovené technologií vstřikování s nadouvadly Maxithem, Hydrocell IT83, Tracell a vzorky zhotovené klasickou technologií vstřikování, byly podrobeny vážení hmotnosti, optické mikroskopii a 3D měření na skeneru Atos.

Vážení hmotnosti:

Vážení hmotnosti nám potvrdilo, že aplikováním technologie Mucell do výroby lze docílit úsporu hmotnosti vyráběného plastového dílu. Největší úspora materiálu zkoušeného plastového dílu u technologie Mucell byla pro objem dávky 175 ccm a to 93,86 g. Což je k porovnání k plastovému dílu vyrobeného klasickou technologií vstřikování úspora 36,8 % hmotnosti. Nejmenší úspora materiálu zkoušeného plastového dílu u technologie Mucell byla pro objem dávky 200 ccm a to 71,1 g. Což je k porovnání k plastovému dílu vyrobeného klasickou technologií vstřikování úspora 27,9 % hmotnosti.

Vážení hmotnosti vzorků vyrobených technologií vstřikování s nadouvadly nám ukázalo úsporu materiálu u nadouvadla Tracell 2,3 %, nadouvadlo Maxithem 2,7 % a nadouvadlo Hydroceroll ITP 830 3 %.

Optická mikroskopie:

Optickou mikroskopií byla pozorována struktura technologie Mucell objem dávky 175 ccm až 200 ccm a struktura vstřikování s nadouvadly. U technologie Mucell bylo pozorováno na obr. 55, že s přibývajícím množstvím plastu uvnitř struktury se zmenšuje velikost mikrobublin, to má za výsledek těžší hmotnost plastového dílu, ale zvýšení mechanických vlastností. Dále bylo potvrzeno, že technologie Mucell má rovnoměrnější rozložení mikrobublin po celém objemu plastového dílu viz obr. 56.

3D měření

Na obr. 57 a obr. 49 str. 62 je dobře patrná tloušťka stěny vyrobeného plastového dílu technologií Mucell a plastového dílu vyrobeného klasickou technologií vstřikování. Průměrná tloušťka stěny vyrobeného plastového dílu technologií Mucell je cca na kraji plastového dílu cca 10 mm a na středu mimo žebra plastového dílu cca 4,9 mm. Průměrná tloušťka stěny vyrobeného plastového dílu klasickou technologií vstřikování je na kraji plastového dílu cca 9,7 mm a na středu mimo žebra plastového dílu cca 4,8 m. Odchylka plastového dílu

vyrobeného technologií Mucell v porovnání s klasickou technologií vstřikování je cca na okraji 0,35 mm a cca 0,15 mm na středu plastového dílu. Z toho vyplývá, že technologie Mucell je v tomto srovnání přesnější než klasická technologie vstřikování. Pro dosažení stejné tloušťky u klasické technologie vstřikování je zapotřebí zvýšit hodnotu dotlaku, či prodloužit dobu dotlaku.

Shrnutí výhod a nevýhod na plastovém dílu za použití technologie Mucell

Výhody:

- *hodnota vstřikovacího tlaku je menší o cca 20 % (viz obr. 53 a obr. 54), s tím jsou spojené menší výdaje na nákup stroje a dále výdaje na provoz lisu,*
- *úspora materiálu na jeden plastový díl až o 36,8 %,*
- *stejně rozložení mikrobublin plynu ve struktuře viz obr. 56,*
- *výrazné zlepšení tvarových a rozměrových nepřesností viz obr. 45 a obr. 46.*

Nevýhody:

- *vzhledové vlastnosti vstřikovaných dílů (šmouhy na povrchu) viz obr. 26,*
- *drahé pořizovací náklady této technologie vztahující se k její patentové ochraně,*
- *nutná přídavná zařízení (zdroj plynu, regulátor tlaku plynu, tlakové trysky, atd.) viz obr. 10.*

Zhodnocení:

Zjištěné, naměřené hodnoty v této diplomové práci potvrzují teoretické předpoklady o technologii Mucell. Technologie Mucell je vhodná zejména pro tlustostěnné díly nebo pro díly, u kterých dochází k deformacím (staženinám, geometrickým nepřesnostem atd.), které se klasickou technologií dají jen špatně odstranit.

Seznam použitých zdrojů:

- [1] LENFELD, P.: *Technologie II.-2 část. Liberec: TU v Liberci, 2005. 139 s. ISBN 80-7372-037-X.*
- [2] ZEMAN, L.: *Vstřikování plastů, BEN - technická literatura, 09/2009. 248 s. ISBN 978-80-7300-250-3.*
- [3] KREBS, J.: *Teorie zpracování nekovových materiálů TU v Liberci, 2006. 250 s. ISBN 80-7372-133-3.*
- [4] http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm
cit: [2013, 03].
- [5] <http://www.arburg.com/cs/cz/reseni/injection-moulding-machines/hydraulic-machines/>
cit: [2013, 03].
- [6] LENFELD, P.: *Nástroje pro zpracování plastů [online]. Studijní opory TU v Liberci, Fakulta strojní, 2005, Dostupné na World Wide Web: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/>. cit: [2013, 04].*
- [7] http://www.technickydenik.cz/rubriky/archiv/ekologicky-vyhodne-pouziti-inertnich-plynu-pro-vypenovani-plastu_11182.html cit: [2013, 03].
- [8] <http://www.trexel.com/>, cit: [2013, 03].
- [9] <http://www.mcae.cz/atos>, cit: [2013, 04].
- [10] <http://www.mmspektrum.com/clanek/vstrikovani-plastu-procesem-Mucell.html>, cit: [2013, 04].
- [11] <http://www.gizmag.com/ford-Mucell-technology/18357/>, cit: [2013, 04].
- [12] http://www.engelglobal.com/engel_web/global/de/index.htm, cit: [2013, 05].
- [13] Berhardt, E. *Processing of Thermoplastic Materials*. Reinhold Publ. Corporation, New York, 1994.
- [14] http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/05.htm, cit: [2013, 05].

[15] <http://cms.stieler.de/en/special-processes/wit> , cit: [2013, 05].

[16] *Stevenson, J.,F. Innovation in Polymer Processing. Molding. Hanser/Gardner Publications, Inc, USA, 1996.*